

ENSAIO PRÁTICO DO MOVIMENTO *CORE*
KNOWLEDGE NO ENSINO DA FÍSICA EM
PORTUGAL

ANA RITA LOPES MOTA

*Tese submetida à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto para obtenção do
grau de Doutor em Física*

Departamento de Física e Astronomia
Centro de Física do Porto
Universidade do Porto

Novembro de 2011

Aos meus pais e irmão.

RESUMO

O ensino da Física conhece dificuldades no mundo inteiro e Portugal não é exceção. As problemáticas relativas à hostilidade crescente dos alunos face à Física e os sucessivos fracassos de reformas, que teimam em não diminuir o insucesso nesta disciplina, têm moldado novas políticas educativas e curriculares que procuram, em simultâneo, conciliar e responder a diferentes interesses.

A preocupação estende-se, afinal, a todo o ensino. As maiores dificuldades encontradas no 3.º ciclo do ensino básico são, aparentemente, comuns e transversais a algumas disciplinas ou áreas disciplinares.

Vive-se numa época em que coabitam diferentes visões sobre a educação e se confrontam diferentes modos de perspetivar a mudança educativa. Este trabalho de investigação insere-se numa problemática que tem sido muito polémica entre professores: o debate entre as correntes que defendem um ensino mais determinado pelos interesses, motivações e inclinações naturais dos alunos (ideologias com raiz romântica) e as que põem a ênfase na importância de um capital de conhecimentos comum que tem de ser garantido por aulas com objetivos de aprendizagem muito específicos, veiculados por um currículo comum a uma sociedade.

Inspirado no movimento *Core Knowledge*, este trabalho de investigação realizou um ensaio em três escolas portuguesas, concretizado através da construção e teste de módulos específicos de alguns temas de Física, ancorados por aulas laboratoriais semanais.

O ensaio, destinado ao ensino básico, incluiu planificações rigorosas e exaustivas de cada módulo; foram preparadas aulas com objetivos bem definidos e materiais para as aulas laboratoriais, organizados em *kits* próprios. Este processo exigiu uma formação permanente dos professores e a preparação cuidada de vários materiais de ensino, que constituem um dos principais resultados do projeto.

O ambiente letivo proporcionado por este projeto revelou-se claramente mais eficaz. Os resultados do grupo experimental foram significativamente superiores aos do grupo de controlo e, apesar de ser necessário alguma prudência na generalização dos resultados, as conclusões deste ensaio permitem exportar indicadores importantes: a necessidade de uma aproximação entre docentes e investigadores, uma obrigatoriedade curricular em termos da realização de atividades laboratoriais regulares e a aposta urgente na formação científica e pedagógica dos professores. A produção de materiais direcionados para a formação de professores e para a sala de aula constituíram um importante *outcome* deste ensaio.

ABSTRACT

Physics teaching faces considerable difficulties, worldwide, and Portugal is no exception. The increasing hostility of students towards Physics, very poor academic results despite successive reforms, have required new educational policies and curricular revisions, in an attempt to address different interests.

This concern is in no way restricted to a single discipline. The most pressing difficulties found in the third cycle of Basic teaching are, apparently, common to all areas of the curricula.

This is an era marked by conflicting visions on education, leading to controversy on how to effect educational change. This research work addresses a question that has been widely discussed among teachers: the debate between schools of thought that defend a pedagogy determined by the natural interests, inclinations, and motivations of students — of romantic inspiration — and those that stress the importance of a common capital of knowledge that must be insured by classes with well defined goals, part of a common, consensual, curriculum.

Inspired in the *Core Knowledge* movement, this research work consisted of a project, carried out in three Portuguese schools, in which specific teaching modules, anchored in weekly laboratory sessions, were implemented and tested.

The work, addressed to Middle School, included rigorous and thorough planning of each teaching module; class materials, with well defined goals, and specific laboratory activities, were prepared; laboratory supplies were organized in kits for easy storage and retrieval. Teacher training was included in the preparation for the classes.

The teaching environment provided by this project showed significant advantages. Experimental groups in each school performed significantly better than control ones. Though some prudence is advisable in generalizing these results, there are important indicators that are likely to be of general value: the need for an close contact between teachers and researchers; the importance of regular and compulsory laboratory activities; the value of teacher training carried out in the context of the specific activities of the teacher in the classroom.

The supporting documents, both for teacher training and for the class, the experimental activities, and the corresponding kits are an important outcome of this project.

*Beim Menschen ist es wie beim Velo.
Nur wenn er faehrt, kann er bequem
die Balance halten.¹*

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

AO professor José Manuel Lopes por ter sido um guia exigente e cativante no meu primeiro degrau propedêutico da atividade docente. Continuamente empolgado pelo seu trabalho, tem um sentido de rigor e dedicação ao ensino que encanta e incentiva qualquer aprendiz. Foi particularmente precioso ao colaborar diretamente nesta investigação, apresentando comentários valiosos ao original. Continua a ser uma referência.

AO professor José António Rodrigues (Arquimedes) pelo seu contagiante entusiasmo pela Física. Dotado de uma inteligência e humildade intelectual notáveis, tem uma vocação apaixonante para a divulgação científica. Desde sempre serviu de caixa de ressonância à minha curiosidade científica. A ele devo a minha realização profissional.

AO professor doutor João Lopes dos Santos por ter sido um anfitrião gentil e solícito na FCUP, do início ao fim do doutoramento. Com a sua combinação de genialidade intelectual e cordialidade académica, tornou esta viagem bastante agradável e estimulante. Senti-me profundamente lisonjeada com o facto de aceitar esta orientação. Alertou-me para a importância de estudar Física exaustivamente, bem como para o facto dos saltos imaginativos resultarem de um conhecimento pré-acumulado. Tinha razão, e também lhe estou grata por isso. Recordarei, com entusiasmo e saudade, as horas que passou comigo a discutir Física. É um homem abençoado por uma rara aliança de inteligência e simplicidade.

À minha família, em especial à minha mãe de quem herdei a paixão de ensinar, por me proporcionar desde sempre uma vida repleta de sorrisos. Ao Sérgio, por já fazer parte de mim.

AOS colegas e amigos do colégio INED Nevogilde, em especial à Dr.^a Maria Helena Côncio, pela profunda amizade.

AOS professores e alunos que consagraram tempo, coragem e paciência na concretização desta investigação.

A todos dirijo-lhes a típica expressão beirã: Bem Hajam!

¹ *A vida é como andar de bicicleta. Para manter o equilíbrio é preciso estar sempre em movimento* [1].

PUBLICAÇÕES E COMUNICAÇÕES

O trabalho de investigação exposto nesta dissertação serviu de base aos artigos e comunicações:

Artigos

- *“Eratosthenes’ measurement of the Earth’s radius in a middle school lab session”*. A. Rita L. Mota e J. M. B. Lopes dos Santos. Aceite para publicação no Latin-American Journal of Physics Education.
- *“Studying plane mirrors in middle school: demonstrations with a special mirror”*. A. Rita L. Mota e J. M. B. Lopes dos Santos. Submetido ao Physics Teacher.
- *“Estações laboratoriais no Ensino Básico: uma aposta no ensino experimental das Ciências”*. A. Rita L. Mota, José Manuel Lopes e J. M. B. Lopes dos Santos. Submetido à Revista Brasileira de Ensino de Física.
- *“Addition table of colours: the additive and subtractive mixture in a single reasoning model”*. A. Rita L. Mota e J. M. B. Lopes dos Santos. Em preparação.

Comunicações orais

- *Addition Table of Colours: the additive and subtractive mixture in a single mathematical model*, A. Rita L. Mota, J. M. B. Lopes dos Santos, GIREP – ICPE – MPTL 2010 International Conference, 2010, Reims, França.
- *Teacher preparation in middle school physics inspired by the Core Knowledge movement*, A. Rita L. Mota, J. M. B. Lopes dos Santos, AAPT 2011 Summer Meeting, 2011, Omaha, Nebraska, EUA.
- *Lab stations: a new concept of laboratory classes*, A. Rita L. Mota, J. M. B. Lopes dos Santos, ICPE 2011 (International Conference on Physics Education) 2011, Mexico City, México.
- *Eratosthenes’ measurement of the Earth’s radius in a middle lab session*, A. Rita L. Mota, J. M. B. Lopes dos Santos, ICPE 2011 (International Conference on Physics Education) 2011, Mexico city, México.

Comunicações em poster

- *Addition Table of Colours: the additive and subtractive mixture in a single mathematical model* A. R. Mota, J. M. B. Lopes dos Santos, 10º Encontro Ibérico para o Ensino da Física, 2010, Vila Real, Portugal.

FORMAÇÃO NO DOUTORAMENTO

Unidades de crédito do programa doutoral MAP-fis

- Física Complementar
- Metodologia de Investigação Educacional
- Laboratório Complementar de Física
- Tópicos Avançados de Física (II)
- Ensaio
- Empreendedorismo

Ações de formação

- “*Minicurso de Teoria da Relatividade*”, *workshop* orientado por Carlos Herdeiro, 10º Encontro Ibérico para o Ensino da Física, Vila Real, Portugal, 2010.
- “*Métodos Estatísticos com SPSS*”, promovido pelo CMUP/GEMAC - Departamento de Matemática da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Outubro de 2010. Esta formação permitiu uma utilização do *software* SPSS com um conhecimento prévio dos seus fundamentos e pressupostos de aplicação bem como um domínio dos testes estatísticos mais adequados à investigação desenvolvida neste doutoramento.
- “*Learn Physics While Practicing Science*”, AAPT *workshop* orientado por Eugenia Etkina, Summer Meeting AAPT Omaha, Nebraska, EUA, 2011.
- “*Pre-College Labs: Student Centered Lab Progression for Vertical Alignment*”, AAPT *workshop* orientado por Steve Lindaas, Summer Meeting AAPT Omaha, Nebraska, EUA, 2011.

CONTEÚDO

I FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	1
1	CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES 3
2	DEBATE EM EDUCAÇÃO: UMA PERSPETIVA DA CULTURA ROUS- SEAUNIANA 7
2.1	Origem e caracterização da corrente romântica 8
2.2	A concretização do movimento romântico na esfera edu- cativa mundial 9
2.3	A influência da corrente romântica em Portugal: custos e benefícios 18
2.3.1	Gestão Flexível do Currículo 21
2.3.2	Orientações curriculares no ensino básico 23
3	DO MOVIMENTO CORE KNOWLEDGE AO ENSINO DA FÍSICA EM PORTUGAL 31
3.1	Origem e principais linhas orientadoras das escolas Core Knowledge 31
3.2	Ensino da Física em Portugal: diagnóstico 34
3.2.1	Formação de professores 34
3.2.2	Ensino Experimental 38
II PROGRAMA DE INTERVENÇÃO	43
4	ENQUADRAMENTO DA INVESTIGAÇÃO 45
4.1	Contexto e problema 45
4.2	Questões, hipóteses e objetivos da investigação 47
4.3	Filosofia tríade: currículo, AL's e formação 48
4.4	Seleção de escolas/docentes 50
4.5	Módulos desenvolvidos 54
5	AValiação DO ENSAIO: TÉCNICAS E INSTRUMENTOS 55
5.1	Introdução 55
5.2	Análise quantitativa 56
5.3	Análise qualitativa 58
6	ELEMENTOS ESTRUTURANTES COMUNS AOS MÓDULOS 61
6.1	Conceções alternativas e mudança conceptual 61
6.2	Estações Experimentais 63
6.2.1	Caracterização 63
6.2.2	Vantagens 64
III INVESTIGAÇÃO E RESULTADOS	71
7	SINOPSE 73
7.1	Unidade: Luz 73
7.2	Unidade: Planeta Terra 77

7.3	Questionário - Professores	78
8	CARACTERÍSTICAS E COMPORTAMENTO DA LUZ	81
8.1	Preparação	81
8.2	Implementação	85
8.2.1	Procedimento	85
8.2.2	Participantes	86
8.3	Avaliação	87
8.3.1	Pré/pós-teste	87
8.3.2	Resultados	88
8.4	Discussão e conclusões	95
9	ESPELHOS PLANOS	97
9.1	Preparação	97
9.1.1	Introdução	97
9.1.2	Espelho semitransparente	98
9.2	Implementação	104
9.2.1	Procedimento	104
9.2.2	Participantes	105
9.3	Avaliação	106
9.3.1	Pré/pós-teste	106
9.3.2	Resultados	106
9.4	Discussão e conclusões	111
10	REFRAÇÃO	115
10.1	Preparação	115
10.2	Implementação	118
10.2.1	Procedimento	118
10.2.2	Participantes	122
10.3	Avaliação	122
10.3.1	Pré/pós-teste	122
10.3.2	Resultados	123
10.4	Discussão e conclusões	129
11	A COR	131
11.1	Preparação	131
11.2	Tabuada das cores	135
11.3	Categorização dos Modelos mentais	138
11.4	Implementação	139
11.4.1	Procedimento	139
11.4.2	Participantes	143
11.5	Avaliação	143
11.5.1	Pré/pós-teste	143
11.5.2	Resultados	143
11.6	Discussão e conclusões	150
12	TERRA E SISTEMA SOLAR	153
12.1	Preparação	153
12.2	Implementação	157

12.2.1	Procedimento	157
12.2.2	Participantes	160
12.3	Avaliação	161
12.3.1	Pré/pós-teste	161
12.3.2	Resultados	162
12.4	Discussão e conclusões	169
13	MOVIMENTOS E FORÇAS	171
13.1	Preparação	171
13.2	Implementação	175
13.2.1	Procedimento	175
13.2.2	Participantes	178
13.3	Avaliação	179
13.3.1	Pré/pós-teste	179
13.3.2	Resultados	180
13.4	Discussão e conclusões	185
14	CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	187
14.1	Conclusões	187
14.2	Considerações finais	192
IV	APÊNDICE	195
A	PRÉ/PÓS-TESTES	197
A.1	Módulo: Terra e Sistema Solar	197
A.2	Módulo: Movimentos e forças	203
A.3	Módulo: Características e comportamento da luz	206
A.4	Módulo: Espelhos planos	209
A.5	Módulo: Refração	212
A.6	Módulo: A Cor	215
B	QUESTIONÁRIO - PROFESSORES	217
	BIBLIOGRAFIA	221

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	O material necessário para cada estação experimental encontra-se organizado por <i>kits</i> 67
Figura 2	Teste LSD de Fisher, comparando ganhos normalizados em todos os módulos, nos dois grupos 75
Figura 3	Comparação dos ganhos normalizados dos alunos ao longo dos módulos através de um gráfico com barras de erro 76
Figura 4	Resultados do inquérito por questionário realizado pelos professores (%) 79
Figura 5	AL: “Tenho uma pequena sombra que entra e sai comigo...” 85
Figura 6	AL: “Os espelhos são os únicos objetos que refletem luz?” 86
Figura 7	Média das classificações, em ambos os grupos, antes e após a instrução do módulo <i>Caraterísticas e comportamento da luz</i> 92
Figura 8	Diferença entre o pós e o pré-teste (por aluno) no módulo <i>Caraterísticas e comportamento da luz</i> 93
Figura 9	Resultados das escolas no módulo <i>Caraterísticas e comportamento da luz</i> 94
Figura 10	Com um espelho semitransparente, vê-se a imagem formada atrás do espelho, à mesma distância que o objeto se encontra do espelho 99
Figura 11	O João consegue ver a imagem de todas as velas? 100
Figura 12	A imagem da palavra <i>Physics</i> não sofreu uma inversão esquerda/direita mas frente/trás 101
Figura 13	Não conseguimos ver mais do nosso corpo à medida que nos afastamos de um espelho plano de reduzida dimensão 102
Figura 14	AL: “Espelho meu... haverá alguém mais bonito do que eu?” 105
Figura 15	Média das classificações, em ambos os grupos, antes e após a instrução do módulo <i>Espelhos planos</i> 110
Figura 16	Diferença entre o pós e o pré-teste (por aluno) no módulo <i>Espelhos planos</i> 110
Figura 17	Resultados das escolas no módulo <i>Espelhos planos</i> 112
Figura 18	AL: “A magia das moedas” 119

Figura 19	AL: “Que lentes uso, Sr. Doutor?”	120
Figura 20	AL: “Como se forma o arco-íris?”	122
Figura 21	Diferença entre o pós e o pré-teste (por aluno) no módulo <i>Refração</i>	127
Figura 22	Média das classificações, em ambos os grupos, antes e após a instrução do módulo <i>Refração</i>	127
Figura 23	Resultados das escolas no módulo <i>Refração</i>	128
Figura 24	Esquemas da síntese aditiva (a) e subtrativa (b)	133
Figura 25	A <i>Tabuada das Cores</i> e a mistura aditiva	136
Figura 26	A <i>Tabuada das Cores</i> e a mistura subtrativa	137
Figura 27	AL: “A cor, o que é afinal?”	141
Figura 28	Excerto de uma resposta da estação experimental 2 (AL: “A cor, o que é afinal?”)	142
Figura 29	Excerto de uma resposta da estação experimental 4 (AL: “A cor, o que é afinal?”)	142
Figura 30	Média das classificações, em ambos os grupos, antes e após a instrução no módulo <i>A cor</i>	147
Figura 31	Diferença entre o pós e o pré-teste (por aluno) no módulo <i>A cor</i>	148
Figura 32	Resultados das escolas no módulo <i>A cor</i>	149
Figura 33	AL: “Que horas são em Paris?”	158
Figura 34	AL: “Onde está o Norte?”	159
Figura 35	AL: “Aqui é Primavera. Além é Verão”	160
Figura 36	AL: “A Lua é mentirosa?”	161
Figura 37	Diferença entre o pós-teste e o pré-teste (por aluno) no módulo <i>Terra e Sistema Solar</i>	167
Figura 38	Média das classificações, em ambos os grupos, antes e após a instrução do módulo <i>Terra e Sistema Solar</i>	168
Figura 39	Resultados das escolas no módulo <i>Terra e Sistema Solar</i>	169
Figura 40	AL: “Quem é o vencedor?”	176
Figura 41	AL: “Vamos medir forças?”	177
Figura 42	AL: “A Terra: um ímã gigante”	178
Figura 43	AL: “Qual é o teu peso em Júpiter?”	179
Figura 44	Diferença entre o pós e o pré-teste (por aluno) no módulo <i>Movimentos e forças</i>	184
Figura 45	Média das classificações, em ambos os grupos, antes e após a instrução no módulo <i>Movimentos e forças</i>	184

Figura 46	Resultados das escolas no módulo <i>Movimentos e forças</i>	185
-----------	---	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Escolas participantes no projeto	51
Tabela 2	Número de professores participantes no projeto	51
Tabela 3	Distribuição de alunos por módulo e ganho normalizado, na unidade <i>Luz</i>	73
Tabela 4	Percentagem de alunos que melhoraram e pioraram a sua <i>performance</i> na unidade <i>Luz</i>	74
Tabela 5	Principais resultados, por escola, na unidade <i>Luz</i>	74
Tabela 6	Distribuição de alunos por módulo e ganho normalizado, na unidade <i>Planeta Terra</i>	77
Tabela 7	Percentagem de alunos que melhoraram e pioraram a sua <i>performance</i> no módulo <i>Planeta Terra</i>	77
Tabela 8	Principais resultados, por escola, na unidade <i>Planeta Terra</i>	78
Tabela 9	Identificação de cada questão no questionário respondido pelos professores	78
Tabela 10	Conceções alternativas dos alunos sobre o processo de visão e as propriedades da propagação da luz	82
Tabela 11	Número de alunos participantes no módulo <i>Caraterísticas e comportamento da luz</i>	87
Tabela 12	Identificação das conceções alternativas, nas diferentes questões, no módulo <i>Caraterísticas e comportamento da luz</i>	87
Tabela 13	Resultados estatísticos relativos ao módulo <i>Caraterísticas e comportamento da luz</i>	89
Tabela 14	Frequências de respostas dos pré/pós-testes, por questão, em %, no módulo <i>Caraterísticas e comportamento da luz</i>	90
Tabela 15	Ganho normalizado, por questão, no módulo <i>Caraterísticas e comportamento da luz</i>	93
Tabela 16	Conceções alternativas dos alunos sobre espelhos planos	97
Tabela 17	Número de alunos participantes no módulo <i>Espelhos planos</i>	105

Tabela 18	Resultados estatísticos relativos ao módulo <i>Espelhos planos</i> 107
Tabela 19	Frequências de respostas dos pré/pós-testes, por questão, em %, no módulo <i>Espelhos planos</i> 108
Tabela 20	Ganho normalizado, por questão, no módulo <i>Espelhos planos</i> 111
Tabela 21	Concepções alternativas dos alunos sobre o fenômeno da refração 115
Tabela 22	Número de alunos participantes no módulo <i>Refração</i> 122
Tabela 23	Identificação das concepções alternativas nas diferentes questões, no módulo <i>Refração</i> 123
Tabela 24	Resultados estatísticos relativos ao módulo <i>Refração</i> 124
Tabela 25	Frequências de respostas dos pré/pós-testes, por questão, em %, no módulo <i>Refração</i> 125
Tabela 26	Ganho normalizado, por questão, no módulo <i>Refração</i> 126
Tabela 27	Concepções alternativas dos alunos sobre o fenômeno da cor 131
Tabela 28	Modelos mentais relativos ao fenômeno da cor 139
Tabela 29	Número de alunos participantes no módulo <i>A cor</i> 143
Tabela 30	Identificação das concepções alternativas, nas diferentes questões, no módulo <i>A Cor</i> 144
Tabela 31	Resultados estatísticos relativos ao módulo <i>A Cor</i> 145
Tabela 32	Frequências de respostas dos pré/pós-testes, por questão, em %, no módulo <i>A cor</i> 146
Tabela 33	Ganho normalizado, por questão, no módulo <i>A cor</i> 148
Tabela 34	Modelos mentais dos alunos e sua evolução no módulo <i>A Cor</i> 150
Tabela 35	Concepções alternativas dos alunos relativamente à dinâmica do planeta Terra 153
Tabela 36	Distribuição das aulas no módulo <i>Terra e Sistema Solar</i> 157
Tabela 37	Número de alunos participantes no módulo <i>Terra e Sistema Solar</i> 161
Tabela 38	Resultados estatísticos relativos ao módulo <i>Terra e Sistema Solar</i> 163
Tabela 39	Frequências de respostas dos pré/pós-testes, por questão, em %, no módulo <i>Terra e Sistema Solar</i> (Parte I) 164

Tabela 40	Frequências de respostas dos pré/pós-testes, por questão, em %, no módulo <i>Terra e Sistema Solar</i> (Parte II) 165
Tabela 41	Ganho normalizado, por questão, no módulo <i>Terra e Sistema Solar</i> (Parte I) 166
Tabela 42	Ganho normalizado, por questão, no módulo <i>Terra e Sistema Solar</i> (Parte II) 166
Tabela 43	Conceções alternativas dos alunos relativamente ao conceito de força 171
Tabela 44	Distribuição das aulas no módulo <i>Movimentos e forças</i> 175
Tabela 45	Número de alunos participantes no módulo <i>Movimentos e Forças</i> 179
Tabela 46	Identificação das conceções alternativas, nas diferentes questões, no módulo <i>Movimentos e forças</i> 180
Tabela 47	Resultados estatísticos relativos ao módulo <i>Movimentos e forças</i> 181
Tabela 48	Frequências de respostas dos pré/pós-testes, por questão, em %, no módulo <i>Movimentos e forças</i> 182
Tabela 49	Ganho normalizado, por questão, no módulo <i>Movimentos e forças</i> 183
Tabela 50	Ganho normalizado em cada módulo, em % 187

ACRÓNIMOS / SIGLAS

AL's Atividades laboratoriais

CFAE's Centros de formação das associações de escolas

CTSA Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente

CA's Conceções alternativas

CNE Conselho Nacional de Educação

GAVE Gabinete de Avaliação Educacional

GFC Gestão Flexível do Currículo

OCDE Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

PISA Programme for International Student Assessment

Parte I

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Em Portugal a educação tem assistido, nas últimas décadas, a um debate vivo e alargado entre especialistas da área, professores e cidadãos. Embora com algumas variações, este debate polariza-se em torno de duas posições: uma que veicula um discurso com raízes na ideologia romântica, defendendo um ensino mais determinado pelos interesses, motivações e inclinações naturais dos alunos; e outra que põe a ênfase na importância de um capital de conhecimento comum que tem de ser garantido por currículos comuns a uma comunidade e por aulas com objetivos de aprendizagem muito específicos, previamente estabelecidos.

Após a conceção e implementação do projeto *Gestão Flexível do Currículo* (GFC) no ensino básico [2], em 1997/1998, o debate intensificou-se através da publicação de muitos artigos de opinião e livros. Por um lado, defende-se que os professores devem ter a autonomia de organizar e gerir o currículo como forma de melhorar a aprendizagem dos alunos; por outro, considera-se que esta é uma liberdade difícil de gerir, acarreta responsabilidades ao professor para as quais ele não está preparado e, sobretudo, não garante aos alunos iguais oportunidades para alcançar uma aprendizagem de excelência.

A GFC inicia um processo de desvalorização do currículo único e promove o *ensino centrado no aluno*, um ensino adaptado às suas necessidades e motivações. Apela a uma permanente contextualização das aprendizagens e restringe o ensino e o currículo a uma perspetiva de desenvolvimento de competências, em detrimento do conhecimento substantivo, ideias que contêm elementos do construtivismo pedagógico e do naturalismo rousseauiano.

Um década após este movimento de flexibilização curricular e num ambiente consciente e consensual de que o discurso das políticas educativas não encontrou eco nas práticas letivas, continuam a ser discutidos princípios e fundamentos que justificam estes dois pontos de vista. Em comum têm a crença de que o ensino deve promover a aquisição de saberes básicos, não orientados exclusivamente à teoria e capazes de desenvolver competências necessárias a uma vida mais responsável e esclarecida. O consenso estende-se, também, ao facto deste saber ser transversal e inteligível segundo uma orientação educativa apoiada nos quatro pilares da Educação definidos pela UNESCO: “aprender a ser” e seus subordinados, “aprender a conhecer”, “aprender a fazer” e “aprender a viver juntos” [3].

Este trabalho de investigação procura promover uma reflexão sobre a necessidade de atender a conteúdos essenciais de um dado ramo de conhecimento, como condição para o desenvolvimento de competências.

Os módulos desenvolvidos foram baseados em estudos e indicadores decorrentes de investigações nacionais e internacionais da área do ensino da Física.

As visões divergem quando se discute a operacionalização dos saberes. O dilema atual é entre uma filosofia curricular que apela a uma larga autonomia por parte do professor, o construtor do currículo, e outra filosofia que, consciente da inviabilidade da concretização do discurso teórico em práticas letivas, defende um currículo previamente estabelecido por especialistas à luz de indicadores nacionais e internacionais. É aqui que residem os verdadeiros conflitos.

Este trabalho de investigação parte desta problemática; não pretende dissecar todos os argumentos, nem analisar exaustivamente toda a evidência que os proponentes de cada posição têm aduzido em defesa das suas posições, mas tão só transpor a questão para o campo eminentemente prático da concretização das ideias no contexto da lecionação de módulos específicos da disciplina de Ciências Físico-Químicas. Será realmente possível, neste contexto específico, o desenvolvimento de competências num sistema educativo em que a autonomia curricular — um forte esteio do projeto GFC — não garante a abordagem de conteúdos essenciais, sem os quais, segundo muitos, não é possível operacionalizar as ditas competências?

A visão educativa do *Core Knowledge* [4], movimento de estilo de ensino baseado na premissa de que uma educação mais justa e exigente requer um ensino com objetivos bem definidos, serve de inspiração ideológica para este projeto que conjuga esta metodologia com uma formação permanente dos professores e com a promoção de atividades laboratoriais semanais.

Ensaio prático do movimento Core Knowledge no ensino da Física em Portugal constitui-se como um projeto desenvolvido nas escolas portuguesas do ensino básico, no sentido de combater o insucesso escolar e demonstrar a possibilidade de uma preparação em Física que seja reconhecida como mais eficaz e útil para o ensino secundário e para a vida ativa.

Esta investigação não tem um cariz filosófico ou ideológico, pelo contrário, a sua preocupação é essencialmente prática. Quando se faz uma crítica à pedagogia de raiz romântica, não é intenção primeira pôr em causa as suas ideologias, ou os pressupostos sobre os quais assentam, mas tão só analisar as consequências imediatas, desejadas ou não, da sua aplicação no nosso sistema de ensino. Não se pretende defender o ensino tradicional *per si*, nem criticar o ensino ligado à pedagogia romântica *per si*; reconhece-se que é importante reunir ideias e sugestões, independentemente da sua origem, procurando soluções eficazes para conseguir um real crescimento intelectual dos estudantes, quer em competências quer em conhecimento de conteúdos, se é que é possível separar os dois.

Quanto à organização desta tese, num primeiro tempo, apresenta-se o enquadramento do estudo com destaque para a problemática da implementação das ideologias românticas no panorama educativo.

Após uma caracterização deste movimento e uma análise dos seus reflexos ao nível da esfera educativa mundial, os esforços são centrados a nível nacional, nomeadamente no que concerne ao projeto GFC.

Os documentos *Currículo Nacional do Ensino Básico - Competências Essenciais* e *Orientações Curriculares do 3.º ciclo* são analisados com algum detalhe, apresentando-se de seguida, um complemento publicado este ano letivo: as *Metas de Aprendizagem*.

Segue-se uma descrição sumária do movimento *Core Knowledge* e da sua influência no presente projeto de intervenção, ao impulsionar a introdução de propostas de planificação rigorosa de aulas de Física no 3.º ciclo do ensino básico. Ainda neste capítulo, é feito um breve diagnóstico de dois pilares fragilizados no ensino da Física em Portugal: por um lado, a formação contínua dos professores e, por outro, o ensino experimental.

Numa fase posterior é feito o enquadramento do projeto de investigação: são apresentadas as questões, hipóteses e objetivos da investigação e é explicada a filosofia tríade do projeto: currículo único, trabalho experimental e formação de professores. As técnicas e instrumentos para avaliação do ensaio são discutidas, e são analisados dois elementos estruturantes na construção dos módulos: as conceções alternativas dos alunos e as estações experimentais.

Posteriormente, são apresentados os módulos desenvolvidos; são expostas as preocupações específicas (científicas e pedagógicas) tidas em consideração, e decorrentes de estudos prévios; é explicado o processo de construção e implementação de cada módulo; e, por fim, são apresentados e discutidos os resultados decorrentes de uma análise essencialmente quantitativa dos dados obtidos.

Na última secção, tece-se uma consideração final que procura sistematizar o fio condutor do pensamento exposto neste trabalho de investigação, bem como os principais resultados obtidos; apontam-se propostas de índole macroestratégica sobre a reconceptualização curricular em Portugal; e, por último, apresentam-se sugestões para futuros estudos de investigação.

DEBATE EM EDUCAÇÃO: UMA PERSPETIVA DA CULTURA ROUSSEAUNIANA

“Cualquiera que se haya dedicado concienzudamente a la enseñanza se ha dado cuenta de que, para que los alumnos aprendan bien las muchas cosas que han de aprender (y que sin duda son más de las que actualmente aprendem), hace falta, por parte del enseñante, una acción técnica metódica, insistente y esforzada y, por parte del alumno, mucha atención, estudio, ejercicio y esfuerzo (...). Y todo lo demás son músicas celestiales. (...) La escuela tradicional podía tener sus defectos, pero este lo tenía muy claro.”

José Quintana Cabanas, *La Educación está Enferma*, 2004

Jean Jacques Rousseau propôs em *Émilie ou De L' Éducation* uma autêntica revolução pedagógica ao defender que todo o ensino se deveria centrar nos interesses e motivações naturais das crianças. As suas propostas estão na raiz de correntes de pensamento sobre a educação identificadas como correntes românticas, tendo originado um conjunto de ideologias pedagógicas, postas em prática nalguns sistemas de ensino mundiais, incluindo o Português.

Neste capítulo, faz-se uma reflexão alargada sobre a origem e caracterização dos ideais românticos, procedendo-se a uma breve análise do impacto desta pedagogia nas políticas educativas mundiais. Aborda-se a polarização ideológica entre a corrente romântica e o ensino dito tradicional, com especial atenção à situação em Portugal. Proceder-se-á, com algum detalhe, à análise de uma das consequências mais imediatas da pedagogia romântica: a ausência de currículo único e sua substituição por linhas orientadoras em termos de competências essenciais, deixando às escolas e a cada professor a responsabilidade de operacionalizar competências em conteúdos.

Numa fase final, analisa-se o documento *Currículo Nacional do Ensino Básico - Competências Essenciais* (2001), uma das consequências mais visíveis da implementação do projeto *Gestão Flexível do Currículo*, a que se segue, dez anos depois, a publicação das *Metas de Aprendizagem*, numa tentativa assumida de preencher as lacunas deixadas pela inexistência de um currículo nacional.

2.1 ORIGEM E CARACTERIZAÇÃO DA CORRENTE ROMÂNTICA

O pensamento educacional de Rousseau enquadra-se numa perspetiva naturalista.

Em pleno século XVIII, Jean Jacques Rousseau (1712-1778) abriu caminho para um novo conceito de educação que impulsionou uma revolução didática vivida até aos dias de hoje.

O livro *Émilie ou De L'Éducation* (1762) constitui a obra mais emblemática de Rousseau e consagra-o como o precursor da corrente romântica. Este filósofo defende que cada criança nasce com um temperamento próprio, pelo que as diferenças individuais devem ser consideradas durante a educação, sob pena de se correr o risco de destruir ou encobrir as tendências naturais de cada educando. Por conseguinte, a educação deveria estar centrada nos interesses das crianças, nas suas experiências e atividade pessoal e deveria criar situações estimulantes para que a criança reaja a elas e se eduque a si própria, de forma espontânea e natural [5].

O papel dos adultos é observar as tendências naturais das crianças, sem promover qualquer tipo de constrangimento, num ambiente espontâneo e livre (as crianças não se devem sentir pressionadas ou observadas). Rousseau reforça a ideia anterior, fundamentando que os adultos devem evitar tomar como critérios de referência os seus hábitos e interesses, porque isso significaria que estariam a considerar todos os impulsos infantis como nefastos.

Nesta ordem de ideias, o professor deve respeitar o ritmo de trabalho de cada aluno e mobilizar as suas aptidões e capacidades intelectuais. Deixa de ser o autor da educação para ser testemunha e protetor, passando a ser seu dever conhecer profundamente cada aluno para poder satisfazer as suas necessidades. O ensino deve consistir no estudo de poucas disciplinas por dia, sendo todas as atividades centradas nos interesses das crianças. Ao educando cabe construir a sua própria aprendizagem.

A criança, nesta perspetiva, é considerada como um ser naturalmente apto a autocorrigir-se a partir dos erros que vai cometendo; o desenvolvimento das suas capacidades inatas deve ser espontâneo e independente, pelo que a educação oriunda do contacto social se deverá subordinar a esse desenvolvimento.

Na versão mais extrema, esta corrente aposta num ensino sem livros, sem classes, sem aulas, sem programas fixos e quase sem professor.

Ao valorizar mais a espontaneidade do que a excelência académica, a corrente romântica tem facilitado o aparecimento de formas de ver a educação caracterizadas por uma cultura anti-intelectual que descredibiliza uma educação baseada num treino sistemático e específico da mente. Privilegia o crescimento natural da criança, evitando imposições e contrariedades, que são vistas como obstáculo ao desenvolvimento da imaginação e criatividade. Assumindo que as crianças são dotadas de uma bondade que deve ser preservada até à adolescência, esta corrente defende que a aprendizagem deve decorrer numa perspetiva holística,

encorajando a ideia de que o sucesso acadêmico depende mais de condições sociais e talento natural do que na capacidade de trabalho.

Muitos filósofos e intelectuais influentes reconheceram a relevância da proposta educacional de Rousseau. Podem ser citados como seus sucessores e propagadores desta concepção naturalista, Pestalozzi, Froebel e Herbart. Apesar de cada um reunir preocupações e ideologias específicas, é comum a todos estes pensadores românticos a consagração da escola como uma instituição onde as crianças descobrem de uma forma natural a sua própria identidade, aprendem vivenciando os elementos essenciais da justiça, da responsabilidade e do poder de iniciativa [6].

Apesar de ser um movimento eminentemente europeu, a corrente romântica eclode na esfera mundial e, em termos práticos, concretiza-se, por exemplo, na famosa escola Summerhill e na Escola Nova, um movimento de reforma educativa que teve como grandes impulsionadores Dewey, Ferrière, Montessori, entre outros. Nesta escola, defendia-se a centralização da educação na criança, respeitando a sua individualidade, interesses e experiência individual.

A educação puramente natural de Rousseau, originou uma nova linha pedagógica: o *ensino centrado no aluno* (ensino progressista) que ganhou um maior número de adeptos a partir da publicação da obra de H. O. Rugg, *The child-centered school* (1928). Esta obra apela a uma aprendizagem que esteja de acordo com os interesses de cada aluno, o seu temperamento, o seu gosto e as suas necessidades. Segundo Hirsch [6]:

“The hallmarks of the new school are freedom, activity, and creative self-expression. (...) they model in clay and sand; they draw and paint, read and write, make up stories and dramatize them; they work in the garden; they churn and weave and cook; its philosophy is “the concept of Self”... The whole child is to be educated. Hence the materials of education are as broad and interrelated as life itself.”

Os alunos eram educados de acordo com as suas preferências, de forma a se manterem permanentemente curiosos e ativos.

2.2 A CONCRETIZAÇÃO DO MOVIMENTO ROMÂNTICO NA ESFERA EDUCATIVA MUNDIAL

Os ideias da corrente romântica encontram uma expressão concreta no conceito de *ensino centrado no aluno*. Ao apelar a princípios psicopedagógicos de um ensino baseado no interesse natural da criança e não no seu esforço artificial, estas ideologias alertaram as escolas para a importância de transmitirem o gosto de aprender e a curiosidade intelectual. Atividades como visitas de estudo, semanas da Ciência, *workshops*, entre outros, são valorizadas nas escolas de hoje, como consolidação

O ensino centrado no aluno é uma corrente inspirada nas ideias naturalistas de Rousseau.

As ideias românticas enriqueceram a Educação, ao procurarem desenvolver estratégias com o intuito de promover nos alunos o gosto pela escola.

e complemento do conhecimento, promovendo a relação aluno-aluno e aluno-professor. Esta atenção às características individuais do educando, à sua motivação e ao seu papel no processo educativo são uma contribuição fundamental da corrente de inspiração romântica à teoria e prática da Educação.

Outro apontamento naturalista das escolas de hoje refere-se à perspectiva holística do ensino, isto é, à valorização de um ensino baseado na vida quotidiana e em projetos, concretizado numa perspectiva CTSA (Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente). Esta perspectiva baseia-se num ensino contextualizado com o mundo exterior, para que os jovens tomem consciência do mundo social e tecnológico que os envolve. Defende que é a partir de questões e problemas relevantes do quotidiano dos alunos que devem ser desenvolvidos os conteúdos curriculares e que a aprendizagem das Ciências não pode confinar-se ao conhecimento de factos e suas interpretações mais ou menos aprofundadas conforme o nível escolar [7].

Um pouco por todo o mundo, vários projetos foram desenvolvidos apostando num currículo fortemente CTSA. Cita-se, a título de exemplo, o projeto *Salters*¹, desenvolvido no Reino Unido [8]. De acordo com esta filosofia de ensino, a importância dos diferentes conceitos ganha sentido se forem analisados e adquiridos dentro de questões reais e atuais. Porque aprender é mais do que adquirir conhecimentos, o movimento CTSA alerta para a importância de confrontar pontos de vista, analisar criticamente argumentos e desenvolver capacidades que permitam o desenvolvimento de atitudes e valores [7].

No contexto CTSA, os conteúdos deverão ser o ponto de chegada e nunca o ponto de partida.

Alguns princípios da pedagogia romântica têm sido corroborados por investigações na área da cognição. A perspectiva construtivista é um dos exemplos mais visíveis e reúne um consenso alargado entre especialistas na área da Psicologia e Educação [9, 10, 11, 12]. Esta perspectiva foca-se na forma como os alunos aprendem; a aquisição do novo conhecimento depende da interação da nova informação com o conhecimento pré-acumulado que o aluno tem sobre determinado conteúdo. Este conhecimento encontra-se organizado em modelos mentais, que, contudo, não têm as características de coerência e consistência dos modelos científicos; a receção passiva de informação não é por si suficiente para fazer evoluir este modelo, e os educandos têm de ser participantes ativos na construção do seu conhecimento [13]. Estes conceitos têm inspirado inúmeros movimentos de reforma de ensino da Física, tais como, por exemplo, *Just in Time Teaching*, de G. M. Novack e colaboradores [14], *Peer Instruction* de Eric Mazur [15] e *Active Learning* de Eugenia Etkina [16], entre outros.

A perspectiva construtivista encontra-se muito relacionada com a filosofia pedagógica do *ensino centrado no aluno* ao defender que só as

¹ Science on Social Context Advanced Learning Program for Teachers and Educators Resources.

ideias construídas pelo próprio permanecem e contribuem para a sua riqueza intelectual. Logo, segundo esta teoria, o aluno aprende pelas suas próprias experiências e, durante o processo de aprendizagem, a transmissão do conhecimento pelo professor é subvalorizada, não constituindo um fator relevante para a construção do saber.

A ideia romântica do *ensino centrado no aluno* perdura até aos dias de hoje, embora tenha sempre sido uma corrente pedagógica muito polémica, encarada com alguma relutância por muitos professores e especialistas da Educação. Um pouco por todo o mundo, têm-se desenvolvido trabalhos de investigação em torno das duas correntes: a do *ensino centrado no aluno* e a do *ensino centrado no professor*.

Jeanne Chall, num livro mediático, *What Really works in the Classroom* [17], apresentou uma discussão sobre estes dois tipos de ensino cuja prevalência nos EUA tem alternado, de uma forma mais ou menos cíclica. Esta investigadora da Educação argumentou, com base na evidência de dezenas de estudos, que o *ensino centrado no professor* se revelou mais eficaz na aprendizagem da língua e conduziu a melhores resultados académicos. Contudo, Chall reconhece estudos isolados que demonstraram as vantagens de algumas premissas reivindicadas pelo *ensino centrado no aluno*.

Na verdade, há relatos de pessoas a quem esta nova pedagogia trouxe uma maturidade intelectual e um crescimento criativo notáveis. É o caso de Albert Einstein que frequentou, na Suíça, uma escola inspirada na filosofia de Pestalozzi [1] chegando mesmo a assumir que essa foi a escola que mais gostou por poder usufruir de uma liberdade que nunca antes experimentara, no rígido sistema de ensino alemão do início do século XX. Saliente-se, contudo, que quando Albert Einstein ingressou nesta escola, já possuía uma notável organização mental e uma disciplina intelectual metódica, o que, provavelmente, lhe permitiu desenvolver a imaginação em maior escala [1].

A ausência de um currículo único, uma das principais consequências da pedagogia romântica, é justificada pela defesa de um ensino personalizado, feito de acordo com as necessidades e gostos dos alunos. Esta flexibilidade curricular é um elemento estruturante da pedagogia romântica e, porventura, o mais criticado.

No livro *The Schools we need and why we don't have them* [6], Hirsch refere vários estudos² que mostram a fragilidade do sistema de ensino americano após a década de 60. Os estudos apresentados revelam que,

A perspectiva construtivista encontra-se muito relacionada com a filosofia pedagógica do ensino centrado no aluno.

A filosofia do ensino centrado no aluno nunca conseguiu reunir consensos na comunidade científica. A ausência de um currículo único está na base das principais discussões.

²

Um dos estudos apresentados compara a prestação de dois tipos de amostras: alunos dos EUA (sujeitos a um currículo vago e que varia de local para local) e alunos japoneses (que têm um currículo único) sujeitos a um teste de Matemática. Este estudo, liderado por Harold Stevenson, certificou-se que o teste envolvia conceitos matemáticos dados por ambos os grupos e que a amostragem socioeconómica era semelhante. Os resultados mostraram claramente que a prestação dos alunos americanos foi bem mais baixa do que a dos japoneses. Hirsch cita igualmente a evolução dos SAT scores (teste estandardizado de admissão aos *Colleges* Americanos) ao longo dos anos.

antes da implementação das reformas baseadas nos ideais românticos, o ensino público tinha contribuído para aproximar as classes sociais, uma vez que os alunos eram submetidos ao mesmo currículo. Assim, quando as escolas funcionavam com um ensino tradicional, os alunos provenientes das classes mais desfavorecidas possuíam um conhecimento intelectual mais alargado, propiciador de um estreitamento de classes. Curiosamente, nos anos 60, altura da implementação das novas reformas, essa diferença começou a estabilizar [6]. Neste mesmo livro, este autor refere inúmeros estudos realizados a partir da década de 70 por todo o mundo que indiciam que os alunos instruídos com um currículo único apresentam melhores resultados³.

Para Hirsch, a ideia chave do *ensino centrado no aluno* é corajosa mas complicada de executar na prática. Como se pode com uma turma de vinte e cinco alunos providenciar um ensino individualizado? Se a atenção do professor recair num só aluno, os outros vinte e quatro estão por sua conta. Para além de ser matematicamente impossível providenciar um ensino personalizado, o professor tem que ser extraordinariamente talentoso para promover o ensino adequado a cada aluno.

Note-se que o importante é que cada criança seja sujeito a um currículo bem organizado e exigente, independentemente se ele é ou não único num determinado país. Hirsch cita a Suíça como exemplo de um país que tem um sistema educativo considerado de excelência. Apesar de não ter um currículo único nacional, cada cantão possui um currículo específico, respeitando uma linha de conteúdos essenciais. Como as crianças suíças registam pouca mobilidade, isto é, raramente se movem de cantão para cantão, cada criança recebe uma aprendizagem coerente, cuidadosamente monitorada e sequencial.

Recentemente, num artigo fruto de uma alargada reflexão, Ravitch, especialista na área da Educação nos EUA, analisa a importância das escolas terem um currículo consolidado e coerente, defendendo que a pedagogia (como se ensina) deve ser da responsabilidade do professor, ao contrário do currículo (o que se ensina) que deve ser construído por especialistas da área [18].

Gramsci, filósofo e político italiano, foi um dos primeiros a perceber a fragilidade dos ideais românticos. Já em 1932, escrevia [6]:

“The new concept of schooling is in its romantic phase, in which the replacement of “mechanical” by “natural” methods has become unhealthily exaggerated... Previously pupils at least acquired a certain baggage of concrete facts. Now there will no longer be

³ Estudos realizados nas décadas de 70 e 80 pela IEA (International Association for the Evaluation of Educational Achievement) mostram que países que aderiram ao currículo único mantiveram a sua prestação académica ou até subiram como foi o caso do Japão, Finlândia e Hungria. Os países sem um currículo único, como os EUA, Inglaterra e Austrália baixaram os seus resultados.

any baggage to put in order... The most paradoxical aspect of it all is that this new type of school is advocated as being democratic, while in fact it is destined not merely to perpetuate social differences but crystallize them in Chinese complexities."

No livro *Cultural Literacy* [19], Hirsch refere que a justiça social e eficácia económica só é possível se todos os cidadãos partilharem um conhecimento de base comum. Este corpo sólido de conhecimento é essencial para uma participação na sociedade. Mais tarde, na obra *The Schools we need and why we don't have them*, o mesmo autor justifica os motivos dessa convicção [6]:

A ausência de um currículo único pode contribuir para injustiças sociais.

"If shared knowledge is needed among citizens to understand newspapers as well as one another, then, by the same reasoning, shared knowledge is also needed among class members to understand the teacher and one another. Every classroom is a little society of its own, and its effectiveness and fairness depend on the full participation by all its members, just as in the larger society. Such universal participation by students cannot occur unless they all share a core of relevant background knowledge."

A discussão sobre as implicações da corrente romântica já atravessou décadas e foi liderada por grandes pensadores tais como William Bagley (um professor de pedagogia contemporâneo de Dewey, mas ideologicamente seu opositor), Thomas Jefferson, Horace Mann, François Guizot ou Jules Ferry. Para alguns especialistas da Educação, o *ensino centrado no aluno* contribuiu para que se confunda a escola como uma extensão da família ou dos problemas sociais, o que agrava ainda mais as condições sociais dos alunos. A infinita bondade e inocência, por parte do professor, marginaliza o conhecimento. Alunos socialmente desfavorecidos, com ambições geralmente mais baixas, são tratados como alunos mais frágeis, a quem os professores não são obrigados a garantir o mesmo grau de exigência, porque a aprendizagem deve estar de acordo com as suas necessidades e gostos.

A desigualdade de oportunidades no domínio da Educação é uma das principais causas da injustiça social e económica. Alunos socialmente mais favorecidos têm sempre vantagens relativamente aos alunos mais desfavorecidos. Em suma, os ideais românticos para além de servirem como barreiras no desenvolvimento intelectual de cada aluno, podem contribuir, ainda que não intencionalmente, para aumentar injustiças sociais.

Uma questão igualmente relevante levantada por pensadores críticos das ideologias românticas é o facto de deixar as crianças aprenderem ao

Veja-se, por exemplo, os trabalhos desenvolvidos pelo neurocirurgião e professor de Neurobiologia e Neurologia Pasco Rakic [20].

seu próprio ritmo e vontade, sem qualquer estímulo exterior por parte do professor. Num artigo publicado no Primeiro de Janeiro (2002), Carlos Fiolhais refere que *“a aprendizagem ao ritmo dos alunos pretende inculcar a ideia romântica que os alunos se devem desenvolver naturalmente, sem imposições exteriores. Poderá parecer sensata mas é profundamente ingênua. Muita evidência acumulada desde há muito tempo mostra que a imposição pelos professores de objetivos, prazos, níveis de exigência e recompensas adequadas consegue aumentar em muito a aprendizagem dos alunos. Os alunos, abandonados ao seu ritmo, estão definitivamente condenados ao fracasso.”*

Estudos em neurobiologia referem que as crianças devem ser estimuladas desde cedo, isto é, a infância é a etapa da vida em que se desenvolve a capacidade de aprender mais rapidamente, por isso, o cérebro deve ser treinado o quanto antes. Por outro lado, estudos nesta área revelam, igualmente, que todas as aprendizagens requerem esforço. Assim, ao permitir que os alunos escolham o que aprendem e quando aprendem, estamos a subvalorizá-los e a comprometer o seu futuro. É verdade que os alunos aprendem a ritmos diferentes, porque possuem diferentes capacidades intelectuais e motivações, mas a investigação mostra que a imposição de fatores externos de tempo e objetivos potenciam grandemente o desenvolvimento intelectual.

Quintana, catedrático em Ciências da Educação em Espanha, refere que a adesão das escolas espanholas ao naturalismo pedagógico rousseauniano teve como consequência alunos desprovidos de energia mental que não têm desenvolvido em si o hábito do esforço, uma vez que estes não são encaminhados para o espírito de sacrifício. Este pedagogo e filósofo acrescenta que o problema da educação atual não é a falta de recursos, mas a desorientação, a desorganização, a falta de exigência, uma certa anarquia promovida pelas correntes ideológicas românticas que têm dominado a Educação [21]. Ravitch acrescenta [22]:

“Três grandes erros dominam certo pensamento sobre as escolas: o primeiro grande erro é a expectativa de ver as escolas como instituições capazes de resolver todos os problemas da sociedade; o segundo é a crença de que apenas uma parcela das crianças precisa de educação académica de alta qualidade; o terceiro é a crença de que as escolas precisam enfatizar as experiências imediatas dos estudantes e minimizar (ou até mesmo ignorar) a transmissão do conhecimento. O primeiro destes pressupostos leva à perda de foco, afastando as escolas de sua missão mais básica; o segundo contribui para baixos desempenhos e favorece políticas antidemocráticas; o terceiro priva os mais jovens de aprender com a experiência de outros, e impede que eles possam subir (...) em qualquer campo do pensamento e da ação. (...)”

A perspectiva construtivista, apesar de consensual nos seus aspetos de modelo de cognição, constitui-se igualmente como um foco de controvérsia, especialmente pela extrapolação que alguns investigadores fizeram para o campo da Educação e mesmo da Epistemologia⁴. Assim, desta corrente surge a ideia de que o ensino deveria ser exclusivamente centrado no aluno segundo um modelo de ensino por descoberta, isto é, uma aprendizagem direta através da manipulação sensorial, dado que a compreensão de um determinado tópico depende fortemente do conhecimento que o aluno tem sobre esse tema. Alguns autores, embora admitindo que o conhecimento adquirido num ambiente realista é geralmente bem compreendido e integrado, apontam dois problemas de fundo: muitas vezes os alunos fazem descobertas irrelevantes ou cientificamente incorretas, adquirindo conhecimento falso (concepções alternativas) e, além disso, nem todo o conhecimento é passível de ser descoberto. [23]

Na sua versão mais radical, o construtivismo defende mesmo um conceito de conhecimento que não é de modo nenhum aceite pela maioria dos cientistas. Da perspectiva de que o conhecimento só pode ser adquirido através de uma atividade de construção pessoal, vai apenas um passo para o considerar como uma narrativa social, validada pela sua utilidade e viabilidade na ação quotidiana.

Face ao exposto, alguns autores defendem, que, apesar da reconhecida validade da perspectiva construtivista, não é legítimo concretizá-la em termos de prática pedagógica num ensino por descoberta. Não se pode confundir a importância que práticas letivas baseadas na experimentação orientada podem promover, como uma compreensão mais significativa e um espírito crítico mais ativo, com a defesa de políticas educativas exclusivamente baseadas na descoberta espontânea. Assim, o sucesso da perspectiva construtivista tem, pedagogicamente, os seus limites.

Brophy, juntamente com Good, tem desenvolvido um notável trabalho na área da Psicologia Cognitiva. Citando Brophy em *Teacher Behavior and Student Achievement* [12]:

“ (...) students learn more efficiently when their teachers first structure new information for them and help them relate it to what they already know, and then monitor their performance and provide corrective feedback during recitation, drill, practice, or application activities... There are no shortcuts to successful attainment of higher-level learning objectives. Such success will not be achieved with relative ease through discovery learning by the student. Instead, it will require considerable instruction from the

Alunos deixados por sua conta podem correr o risco de não seguir as pistas corretas e debruçarem-se somente em questões irrelevantes.

⁴ Veja-se, por exemplo, o trabalho desenvolvido por Ernst von Glasersfeld, proponente do construtivismo radical.

teacher, as well as thorough mastery of basic knowledge and skills which must be integrated and applied in the process of "higher-level" performance. Development of basic knowledge and skills to the level of automatic and errorless performance will require a great deal of drill and practice. Thus drill and practice activities should not be slighted as "low level". They appear to be just as essential to complex and creative intellectual performance as they are to the performance of a virtuoso violinist."

Jean Piaget estudou processos de aprendizagem em crianças, e concluiu que os professores não devem ser transmissores de conhecimentos, mas devem atuar como guias para que a criança faça a própria descoberta da realidade.

A construção científica faz-se muitas vezes no treino da abstração, o quotidiano dificilmente nos permite alcançar sistemas ideais, isto é, modelos mais ou menos abstratos que explicam os fenómenos do Universo.

No livro *Connected Knowledge, Science, Philosophy, and Education* [24], Cromer critica as concepções construtivistas do conhecimento (que aproxima das dos filósofos idealistas, George Berkeley e Vico e dos estudos de Piaget) e classifica-as de anticientíficas, na medida em que defende que é uma rede de conceitos teóricos que sustenta o discurso científico sobre os dados empíricos, e que esta rede, ao contrário do que defendem os construtivistas, não se encontra, nem se descobre, na experiência do quotidiano, e não é acessível pelo método da descoberta.

A Ciência não pode ser construída apenas pelas percepções que temos do mundo, até porque há conhecimentos que os alunos nunca poderão alcançar apenas por experimentação e observação. Conseguirão os alunos descobrir sozinhos a terceira lei de Newton? É intuitivo para as crianças que quando um carro e um camião chocam, a força que o camião exerce no carro é, em módulo, igual à força que o carro exerce no camião? "A Ciência assume que existe uma realidade exterior para além de nós mesmos" [23], por isso, o estudo da Física, segundo Cromer, deve procurar ser objetivo e isso não se consegue se o seu estudo se limitar à observação.

Da mesma forma, da experiência letiva resulta facilmente a percepção de que não é possível em todos os conteúdos científicos incluir as premissas evocadas pelo movimento CTSA. Os riscos aliados a uma preocupação excessiva com o contexto CTSA, podem levar a alguns incómodos no ensino, uma vez que a construção de aulas baseada exclusivamente nesta perspetiva poderá resultar numa integração forçada, sem coerência intelectual, em que os alunos não aprendem os conhecimentos mais básicos das diferentes matérias. É necessário que o aluno comece a perceber os conceitos, dos mais elementares aos mais complexos e este processo nem sempre é passível de ser acompanhado por uma contextualização. Há alturas em que os conteúdos precisam de ser analisados isoladamente.

Assim, a viagem do mais simples para o mais complexo pode ser posta em causa, se tivermos como único objetivo ensinar num contexto CTSA. Recorde-se que a Ciência só se tornou possível quando abandonou (pelo menos temporariamente) a pretensão de dar conta do quotidiano para analisar e discutir situações académicas.

O debate das ideias apresentadas anteriormente tende a acentuar as diferenças entre o ensino dito tradicional e o ensino decorrente dos referenciais românticos. Contudo, esta polarização ideológica, quando transposta do nível do discurso para a prática, revela-se uma simplificação excessiva, e muitas vezes constrangedora para aqueles que têm como único propósito providenciar uma educação mais eficiente, versátil e justa.

Neste contexto, é perigoso traçar polarizações ideológicas, porque as fronteiras de cada um dos métodos nem sempre se tornam claras e bem definidas. Por exemplo, torna-se estranho pensar que a ideia de que os estudantes aprendem melhor se virem, sentirem, tocarem, é uma “descoberta” dos ideais românticos quando, afinal, a escola dita tradicional já fazia uso destes métodos multisensoriais. Ter em atenção as necessidades e habilidades dos alunos e criar uma atmosfera alegre e multisensorial são preocupações anteriores a Rousseau. É difícil encontrar uma boa escola que não tenha isso em consideração! Já Sócrates utilizava o diálogo com os seus aprendizes, questionando-os de forma a saber os seus saberes e opiniões, para depois refutar as suas ideias, se necessário.

Na pedagogia romântica, para além dos conteúdos aparecerem obrigatoriamente segundo temáticas de interesse do aluno, defende-se que este aprenda ao seu próprio ritmo e de acordo com as suas necessidades e desejo intelectual, pelo que não há objetivos por nível e muito menos universais, isto é, comuns a todos os alunos. Note-se, contudo, que já o ensino tradicional procurava que o ensino dos conteúdos estivesse integrado num contexto capaz de permitir aos alunos uma compreensão mais fundamentada. Assim, tanto um método como o outro preferem a aquisição de conhecimento inserida num contexto e o facto de determinados temas serem mais ou menos interessantes (de acordo ou não com os interesses dos alunos) muitas vezes depende mais do talento do professor do que propriamente do tipo de ensino.

Porventura, as diferenças começam a surgir no que respeita à existência de objetivos académicos. Os referenciais românticos demarcam-se do ensino tradicional, essencialmente, pela ausência de um currículo com objetivos bem definidos, comuns a uma comunidade, que providencie um tronco intelectual de conhecimento indiferenciado aos seus membros. Aposta, assim, numa educação ao ritmo natural de cada criança. Na corrente tradicional, há uma ideia muito clara sobre os objetivos académicos que uma criança deve alcançar por nível de escolaridade.

Em suma, a polarização ensino tradicional *vs* ensino baseado numa pedagogia romântica acaba por não ser muito produtiva, quando, ao querer enfatizar as diferenças, acabamos por nos centrar nas perspetivas mais extremistas. É mais vantajoso, analisar algumas das parti-

As diferenças entre o ensino tradicional e ensino baseado numa pedagogia romântica não estão completamente bem definidas.

cularidades de cada um dos métodos sem esquecer que apresentam, pontualmente, ideias comuns.

2.3 A INFLUÊNCIA DA CORRENTE ROMÂNTICA EM PORTUGAL: CUSTOS E BENEFÍCIOS

O próprio processo de autoavaliação, um espaço de reflexão para aluno e professor, é fruto das ideologias românticas.

A realização de projetos encontrou eco nas práticas letivas por via de programas promovidos no âmbito de políticas educativas.

A corrente romântica promoveu, em Portugal, reformas e princípios psicopedagógicos que perduram até aos dias de hoje. Tal como aconteceu nos sistemas de ensino mundiais, também as escolas portuguesas ganharam uma maior dinâmica com a aproximação das práticas letivas às necessidades e gostos dos alunos. Sublinhe-se, por exemplo, o programa *Ciência Viva* [25], da Agência Nacional para a Cultura Científica e Tecnológica, criado em 1996 pelo Ministério da Ciência e Tecnologia⁵. Este programa teve um importante contributo ao promover e financiar o desenvolvimento de projetos concentrados essencialmente no ensino experimental das Ciências nas escolas.

Ao longo dos últimos anos tem sido feito igualmente um esforço na elaboração de programas e manuais segundo a perspetiva CTSA, na esperança de resolver, em parte, os reduzidos níveis de literacia científica portuguesa e contribuir para um ensino mais participativo e dinâmico.

A influência da corrente romântica manifestou-se igualmente através de uma linha intelectual concretizada em ideias que, em maior ou menor grau, afetaram a cultura educativa portuguesa pós 25 de Abril, através do discurso de muitos teóricos da pedagogia ou responsáveis pela educação.

Desde o polémico *eduquês*⁶, que introduziu “novas” funções ao professor como a de “*facilitar o processo de ensino aprendizagem*” ou “*rentabilizar os tempos de lecionação*” em vez da simples palavra ensinar, até a algumas operações cosméticas, as políticas educativas portuguesas embeberam estes princípios naturalistas. Os portefólios ganharam espaço como instrumento de avaliação (porque contempla o aluno numa perspetiva holística) e ganhou-se alergia a aquisição de factos, como se se tratasse de um fenómeno opositor a um ensino baseado na compreensão.

O discurso romântico teve também impacto quando se tratou de justificar os desastrosos resultados de Portugal no PISA 2003. O PISA (*Project for International Student Assessment*) foi proposto em 1997 pela

⁵ Este programa tem como objetivos promover a cultura científica e tecnológica da população portuguesa, a aprendizagem experimental das Ciências nas escolas e o envolvimento dos cientistas em atividades de divulgação da ciência [25], fomentando assim uma cultura de projeto.

⁶ Expressão introduzida pelo antigo Ministro da Educação Marçal Grilo.

OCDE com o objetivo de comparar, a nível internacional, a capacidade dos alunos (com 15 anos) nas áreas de Leitura, Matemática e Ciências. O objetivo central é relacionar os sistemas educativos adotados nos países envolvidos com os resultados obtidos, de forma a concluir a sua eficácia. Este estudo não permite medir conteúdos de matérias específicas (até porque isso seria impossível, dada a diversidade de *currícula*), mas competências desenvolvidas pelos alunos. Os lugares do pódio são ocupados por Finlândia, Japão e Coreia.

No relatório final, publicado pelo GAVE, não é feita a análise do sistema educativo dos países com melhores resultados no sentido de lhes atribuir a existência de um currículo único bem definido. Foi apresentado como um dos principais fatores para os modestos resultados, o facto de Portugal, ser dos países da OCDE, “*o que tem menos responsáveis de escolas a declarar que monitorizam as aulas dos professores que nelas lecionam*”. No nosso país, apenas 5% dos alunos da amostra frequentavam estabelecimentos de ensino em que tal acontecia, enquanto que na OCDE, essa percentagem era, em média, de 61% [26].

Nesse mesmo estudo, no que respeita à literacia científica, Portugal aparece no *ranking* em 27.º lugar, um lugar muito aquém das expectativas. Responsáveis políticos comentaram, como justificação dos resultados, que o PISA era um estudo que não tinha em conta várias competências que eram desenvolvidas pelos nossos alunos [27]. Estes resultados nunca suscitaram dúvidas, por parte dos especialistas, sobre os princípios românticos nos quais se basearam para construir as suas propostas, tendo, ao invés, ocasionado um ataque aos métodos utilizados para obter estes resultados, quase sempre, os testes estandardizados. Note-se, contudo, que os últimos resultados publicados, relativos ao PISA 2009 são mais animadores⁷.

A cultura do *ensino centrado no aluno* trouxe alguns problemas de fundo. Destacam-se essencialmente a indisciplina, como consequência da subvalorização da autoridade do professor, e o aumento do facilitismo que tem dominado os currículos do ensino básico, fruto da cultura anti-intelectual. Assim, se, por um lado, a disciplina condiciona todo o trabalho desenvolvido numa escola, por outro, o facto dos currículos serem mais vagos e menos exigentes só tem contribuído para uma pobreza pedagógica que nos impossibilita de ter alunos mais literados cientificamente.

Citando Maria Filomena Mónica [28]:

“Ao contrário do que se pensa, a falta de autoridade, a complacência com o erro, a tentativa de se “amar” os alunos, em nada os beneficia. Baixando as expectativas, a escola está a contribuir para que os resultados dos pobres sejam piores do que poderiam

⁷ Os resultados do PISA 2009 estão disponíveis em: http://www.min-edu.pt/data/docs_destques/Sintese_Resultados_PISA2009.pdf

ser. Há quem diga que estes alunos carecem de afeto. Sucede que a escola não é o local indicado para lho dar. O que a esta compete, em primeiro lugar, é ensinar-lhes o que a aldeia, o bairro e a família jamais lhes poderão fornecer.”

Gabriel Mithá Ribeiro [29] alerta para a existência de uma certa inércia na cultura docente que propicia um aumento dos problemas disciplinares cada vez mais existentes nas escolas portuguesas e que os deixa desprotegidos. De acordo com este professor: *“Quando tudo se centra no aluno, aos professores resta o sentimento de culpa, de autoflagelação por todos os males que afetam o ensino esforçando-se por não perceber que eles são as principais vítimas. Os próprios professores, a começar pelos conselhos executivos, têm discursos de práticas contra toda e qualquer forma de exercício de autoridade. É uma perigosa ideologia instalada no corpo docente, curiosamente defendida por quem deveria lutar contra ela.”* [29]

Alguns educadores referem que é perigoso valorizar em demasia o papel da criança em detrimento do professor. Apesar dos ideais românticos serem de reconhecida inspiração pedagógica, neles poderá existir uma preocupação excessiva com a dimensão psicológica da criança, intensificando o seu individualismo e levando a uma desvalorização dos conteúdos. O politicamente correto que acha que tudo deve ser negociado com os alunos é de uma inocência e ingenuidade que prejudica alunos e professores. O poder de decisão dos alunos deve ser muito bem gerido, porque nem sempre o que o aluno quer é o melhor para ele. Cabe ao professor, mais conhecedor da importância da escola e dos conhecimentos que esta pode facultar, fazer essa mediação.

No livro *O “eduquês” em discurso directo* [27], Nuno Crato discute e critica as conceções e propostas da ideologia pedagógica romântica e apresenta algumas consequências que já trouxeram à educação nacional. Para este professor, *“é preciso centrar forças nos aspetos essenciais do ensino, ou seja, na formação científica de professores, no ensino das matérias básicas, na avaliação constante e na valorização do conhecimento, da disciplina e do esforço”*. Acrescenta ainda que: *“não se pode partir sempre do concreto para o geral, tal como não se pode partir sempre do geral para o particular. Não se podem esquecer as aplicações, tal como não se pode subordinar tudo a elas. Deve-se desenvolver o gosto pelas disciplinas e tentar motivar os alunos, mas não se pode limitar o ensino àquilo que os alunos gostam, nem se deve balizar o progresso curricular pelo sentimento positivo dos alunos”*. Acerca desta filosofia, Crato acrescenta: *“Todas estas preocupações são louváveis, mas com a moderação de não as tornar centrais, ou seja, de não permitir que se esqueçam os objetivos e conteúdos curriculares, e tudo o que o jovem necessita para ser chamado a uma vida crítica e informada.”* [27]

As críticas à corrente romântica estendem-se a nível nacional também a outras áreas específicas como o Português. No livro: *O ensino*

do Português, Vieira critica as reformas de 2003 que, segundo a autora, subestimaram a literatura, desprezando o legado patrimonial. Esta professora fala do esvaziamento dos programas dos autores clássicos a favor de uma avalanche de textos informativos e subgêneros, mais relacionados com o “real” e, por isso, mais concordantes com os supostos interesses dos alunos. Sobre este fenómeno, Vieira comenta [30]:

“Os alunos só podem educar a sua sensibilidade com os textos belos (...) e não os textos de escrita banal e paupérrima, sem qualquer apelo à emoção e ao carácter estético e poético da palavra que caracterizam o texto literário. Propiciar aos alunos a leitura de obras incontornáveis, na sua qualidade literária, é uma obrigação da escola, porque as mais banalizadas, vulgares e comerciais conseguem-nas eles obter e ler sem qualquer apoio, em casa, ou estando de férias. Daí considerarmos de suma importância a definição de um cânone de autores, o que não invalidaria que os professores seleccionassem outras obras a seu gosto. A igualdade de oportunidades exige essa atitude, porque há crianças que, pela fragilidade cultural e social do seu ambiente familiar, não terão possibilidade, senão através da escola, de chegar a determinadas leituras.”

2.3.1 Gestão Flexível do Currículo

O projeto *Gestão Flexível do Currículo* (GFC)⁸ surge no ano letivo 1997/98, na sequência de um longo processo de reflexão sobre os currículos do ensino básico. Monitorado pelo Ministério da Educação (Departamento da Educação Básica), este projeto pretendia “promover uma mudança gradual nas práticas de gestão curricular nas escolas do ensino básico, com vista a melhorar a eficácia da resposta educativa aos problemas surgidos da diversidade dos contextos escolares, fazer face à falta de domínio de competências elementares por parte de muitos alunos à saída da escolaridade obrigatória e, sobretudo assegurar que todos os alunos aprendam mais e de um modo mais significativo”⁹.

Para se compreender melhor o intuito deste projeto, apresenta-se um excerto presente no Despacho n.º 9590/99 de 14 de Maio:

“Por gestão flexível do currículo entende-se a possibilidade de cada escola organizar e gerir autonomamente o processo de ensino/aprendizagem, tomando como referência os saberes e as com-

⁸ A GFC foi regulamentada pelo despacho n.º 4848/97 (2ª série), de 30 de Julho, e enquadrado no âmbito do regime de autonomia, administração e gestão das escolas, aprovado pelo decreto-lei n.º 115-A/98, de 4 de Maio.

⁹ Despacho n.º 9590/99 de 14 de Maio - Gestão flexível do currículo do Ensino Básico.

petências nucleares a desenvolver pelos alunos no final de cada ciclo e no final da escolaridade básica, adequando-o às necessidades diferenciadas de cada contexto escolar e podendo contemplar a introdução no currículo de componentes locais e regionais. O projeto de gestão flexível do currículo pretende promover:

- *Uma mudança gradual na organização, orientação e gestão das escolas do ensino básico, visando a construção de uma escola mais humana, criativa e inteligente, com vista ao desenvolvimento integral dos seus alunos;*
- *A criação de condições para que os alunos realizem mais e melhores aprendizagens, numa perspetiva de desenvolvimento de competências à saída do ensino básico;*
- *O desenvolvimento profissional dos docentes e da sua capacidade de tomada de decisões em áreas chave do currículo, adotando sempre que possível estruturas de trabalho colegial entre professores;*
- *Uma maior implicação da comunidade educativa no desenvolvimento conjunto de projetos educativos e culturais que visem uma maior qualidade e pertinência das aprendizagens.”*

Neste contexto, cada escola, dentro dos limites do currículo nacional, deveria providenciar uma gestão curricular das disciplinas, organizando e gerindo autonomamente todo o processo de ensino/aprendizagem. Este processo, refere o documento, dever-se-ia adequar às necessidades diferenciadas de cada contexto escolar, podendo introduzir no currículo componentes locais e regionais. Temos, assim, currículos diferentes por escola, por turma e, em teoria pelo menos, quase por aluno.

O projeto GFC surge, deste modo, como uma proposta curricular para responder às debilidades identificadas no sistema de ensino português no âmbito da escolaridade básica, com fundamentos e princípios embebidos numa perspetiva de melhorar a qualidade de aprendizagem dos alunos. A concretização destes pressupostos obrigaria escolas e professores a uma nova cultura profissional; seria preciso fazer rupturas ideológicas e conceptuais aparentemente complexas de gerir e promover a ideia do professor como profissional permanentemente reflexivo, construtor de um currículo diferenciado, contextualizado com a realidade dos alunos com quem trabalhava.

As ideologias educativas que fundamentaram o projeto apresentado anteriormente tiveram a sua origem num movimento de especialistas na área das Ciências da Educação. O relatório decorrente do estudo

*Saberes básicos de todos os cidadãos no século XXI*¹⁰, apesar de apresentado posteriormente à implementação da GFC, é um bom exemplo deste movimento claramente de inspiração romântica:

“Durante décadas, os saberes básicos foram essencialmente confinados a três tipos de competências: ler, escrever e contar. Um tal modelo está esgotado. Não significa isto que não continue a ser importante saber ler, escrever e contar. A questão não é o que está a mais, mas sim o que está a menos. A escola que temos não serve a sociedade da informação e do conhecimento. Em termos práticos, o desafio que atualmente se coloca a todos os sistemas de ensino nas sociedades modernas é reinventar a nossa relação estratégica com o conhecimento. Em particular, trata-se de caracterizar um novo conjunto de saberes básicos, competências para a ação, que acompanhe a aceleração científico/tecnológica.”

Neste relatório é identificada e justificada a necessidade da escola atual reger-se por princípios prenunciadores de uma visão curricular desvinculada do carácter prescritivo e normativo do currículo tradicional, descentralizando-se dos conteúdos específicos e encarando a flexibilidade como a solução para o complexo processo ensino-aprendizagem. Era preciso impulsionar uma rutura com a visão tradicionalista do ensino, as escolas deveriam focar o seu trabalho no desenvolvimento de competências e promover o desenvolvimento de saberes não fragmentados e compartimentados, numa lógica global, integradora e interdisciplinar.

2.3.2 Orientações curriculares no ensino básico

As orientações curriculares do ensino básico, inseridas no documento *Currículo Nacional do Ensino Básico (CNEB) – Competências Essenciais*, surgem num contexto orientado por um movimento de flexibilização curricular de que o projeto de *Gestão Flexível do Currículo (GFC)* constitui o pilar central. Introduzido nas escolas portuguesas em 2001, o novo currículo das Ciências para o 3.º ciclo do ensino básico é implementado de uma forma generalizada e obrigatória em 2002/2003 no 7.º ano de escolaridade.

Neste documento pode ler-se [31]:

¹⁰ Este estudo foi desenvolvido em 2001/2002 por solicitação do Conselho Nacional de Educação e financiado pela Fundação Calouste Gulbenkian. A equipa responsável pelo estudo foi constituída por António Cachapuz (coordenador), Idália de Sá - Chaves e Fátima Paixão.

“A área disciplinar de “Ciências Físicas e Naturais”, através dos conteúdos científicos que explora, (...) [permite] que a aprendizagem [dos alunos] decorra de acordo com os seus ritmos diferenciados. (...) A opção pelo termo orientações curriculares em vez de programas inscreve-se na ideia da flexibilização curricular, tentando que o currículo formal possa dar lugar a decisões curriculares que impliquem práticas de ensino e aprendizagens diferentes. (...) A designação “Orientações Curriculares” aparece para dar ênfase às possibilidades de gestão dos conteúdos e de implementação de experiências educativas, por parte dos professores, de acordo com os alunos e contextos diferenciados”.

O CNEB define, de acordo com o Decreto-Lei 6/2001, o conjunto de competências consideradas essenciais e estruturantes no âmbito do currículo nacional e está organizado numa perspetiva de desenvolvimento de literacia científica, mais propriamente nos domínios do conhecimento, raciocínio, comunicação e atitudes. Aqui se especifica, por um lado, um conjunto de competências gerais, consideradas essenciais a desenvolver ao longo do ensino básico e, por outro, um conjunto de competências específicas, para cada área disciplinar ou disciplina.

No que respeita ao ensino das Ciências, foi criada uma nova área curricular para o 3.º ciclo do ensino básico, as Ciências Físicas e Naturais que integra duas disciplinas: CFQ (Ciências Físico-Químicas) e CN (Ciências Naturais). As orientações destas duas disciplinas foram elaboradas em harmonia e em simultâneo numa perspetiva interdisciplinar, no sentido de promover uma compreensão global, não compartimentada dos diferentes temas [31].

Neste contexto, o currículo único deu origem a orientações curriculares e os objetivos foram substituídos por competências. A ideia de conteúdos específicos foi abolida e nasceram quatro temas organizadores, os quais são retomados em cada ciclo de escolaridade: “Terra no espaço”, “Terra em transformação”, “Sustentabilidade na Terra” e “Viver melhor na Terra”. Ao longo destes temas apresentam-se conteúdos e sugestões educativas para Ciências Naturais e para Ciências Físico-Químicas [31]. A disciplina de Ciências Físico-Químicas, que era lecionada apenas nos 8.º e 9.º anos de escolaridade, passou a ser lecionada nos três anos, 7.º, 8.º e 9.º.

Em 2001/2002, visionava-se um processo moroso mas, aparentemente, fácil de concretizar. E quando se passou à prática? Que dificuldades sentiram os professores na adaptação à implementação dos novos currículos? Esta nova organização curricular foi decodificada e adaptada pelos professores à realidade nacional?

As políticas educativas só têm sucesso se tiverem repercussão em sala de aula, porque tudo se reduz a ela e o papel do professor é único e fun-

damental. As dificuldades sentidas pelos professores no terreno foram várias. Já em 2005, no seminário *Ciência e Educação em Ciência: Situação e perspectivas*, promovido pelo CNE, Maria da Conceição dos Santos, professora de Ciências do 3.º ciclo do ensino básico e do ensino secundário, referiu aspetos de vários quadrantes: organizacionais, relativos à formação de professores e, por último, à interpretação do documento. De uma forma sistematizada, apresentamos as suas principais conclusões, relativas às disciplinas de CN e CFQ [32]:

- **Dificuldades de natureza organizacional:**

- reduzida carga horária;
- elevado número de alunos por turma;
- não desdobramento das turmas em turnos em algumas escolas;
- aulas com a escassa duração de 45 minutos;
- extensão dos conteúdos face à carga horária disponível;
- articulação, por vezes, difícil no espaço do horário entre os professores;
- falta de recursos da escola, nomeadamente falta de espaços, equipamentos, materiais e auxiliares de laboratório.
- manuais com erros científicos.

- **Dificuldades relativas à formação de professores:**

- formação inicial inadequada (a nível pedagógico e a nível científico);
- formação contínua pouco diversa;
- falta de ações de formação nas escolas;
- necessidade de formação sobre a avaliação dos alunos nomeadamente a avaliação de competências;
- resistência à mudança dos professores.

- **Dificuldades de interpretação do documento:**

- falta de informação que permita ao professor saber qual o grau de generalidade *vs* pormenor com que um dado conteúdo programático deve ser lecionado (apesar de alguns professores considerarem este argumento como positivo);

- inexistência de uma sequência lógica para a distribuição dos conteúdos ou, por vezes, elevada complexidade dos temas a abordar¹¹;
- falta de compreensão da linguagem dos documentos oficiais, devido à falta de esclarecimento e, porventura, consenso.

A atitude dos professores face às novas ideologias educativas esteve aquém do esperado, uma vez que, apesar de usarem as novas terminologias, as práticas letivas mantiveram-se. Alguns professores manifestaram-se contra estas políticas, por considerarem que ocultam a transmissão de conhecimentos científicos e desprezam o intelectualismo, ao valorizar experiências de aprendizagem mais centradas nos alunos. Um currículo baseado em princípios gerais, não mensuráveis, era um falso suporte pedagógico.

Relativamente às orientações curriculares do ensino básico, Carlos Fiolhais, considera que estão escritas em “*eduquês*”, “*o dialecto incompreensível com o qual se tem tentado justificar o nosso “status quo” educativo*” [33]. Organizadas em unidades temáticas, estas diretrizes são vagas e cientificamente pouco esclarecedoras, o que faz com que os alunos que chegam ao ensino secundário levem uma bagagem desigual quer quantitativa, quer qualitativamente.

Nuno Crato refere-se ao *Currículo Nacional do Ensino Básico — Competências Essenciais* de 2001 como uma vaga cartilha ideológica sectária. Acrescenta ainda que: “*As competências específicas do Currículo Nacional do ensino básico para as Ciências Físicas e Naturais são vagas e científica e pedagogicamente pobres*”. Para este professor, um dos grandes problemas das ideologias que justificam este documento é a oposição clara entre a criatividade e a aprendizagem de rotinas, como se a primeira pudesse ser desenvolvida sem a segunda. A aprendizagem contempla uma viagem progressiva: primeiro é preciso compreender os conhecimentos mais simples, depois formalizá-los e generalizá-los e, numa fase final, aplicá-los criativamente [27].

Em termos nacionais, praticamente todos os especialistas concordam que o desenvolvimento de competências é uma meta educativa mais nobre do que a aquisição pura de conteúdos. A questão que é colocada é que a organização de um currículo por competências não garante a aquisição destas, pelo contrário, promove um desequilíbrio académico.

A ausência de um programa bem definido por anos de escolaridade faz com que um professor receba os alunos num determinado ano sem saber o que estes aprenderam no ano anterior. Este fenómeno iliba inconscientemente alunos e professores de responsabilidades, ao mesmo tempo que garante significativas falhas e repetições no que respeita

¹¹ A autora refere que, de acordo com os estudos analisados, há professores que consideram que os temas se encontram distribuídos numa sequência lógica.

ao conhecimento adquirido pelos alunos. Estas lacunas promovem ignorância e um vasto conjunto de oportunidades desperdiçadas; a aprendizagem limita-se àquilo que o professor acha ser o mais adequado mediante o mundo que cada um conhece.

Assim, a ausência de um currículo único tem promovido uma desigualdade entre pares e uma dificuldade acrescida aos próprios professores, porque os alunos não possuem o mesmo *background* e maturidade científica à entrada do ensino secundário. O problema é igualmente colocado para alunos que tenham esta disciplina exclusivamente no ensino básico, apesar de neste caso a responsabilidade ser acrescida, uma vez que é aqui que os alunos têm a única possibilidade de desenvolver competências fundamentais.

É curioso verificar que, no ano da introdução dos novos programas do ensino básico e secundário, apenas o ensino básico aparece com um formato de orientações curriculares, porque o ensino secundário apresenta um currículo com objetivos de ensino e de aprendizagem discriminados. Como é possível, no mesmo país, coexistirem dois critérios tão diferentes? Se, por um lado, temos que garantir um capital de conhecimento comum aos alunos à saída do ensino secundário para não comprometer o exame nacional e assegurar uma boa preparação para o ensino superior, por outro, também deveríamos ter a mesma preocupação no ensino básico!

O resultado desta ausência de objetivos explícitos foi, infelizmente, o refúgio dos professores em manuais escolares [27]:

“(...) contrariamente às já referidas boas mas ingénuas intenções dos que dizem que o mal está no facto de os professores não terem aprendido a trabalhar com as competências e a traduzi-las em conteúdos e atividades, os preceitos desse documento são impossíveis de trabalhar, a não ser que interpretados como algo a que se presta culto verbal, mas não se usa como referência. (...) Imagina-se que o resultado prático seja muitos professores refugiarem-se nos manuais escolares. Ou seja, a instituição das “competências” teve o efeito perverso de aumentar o apelo acrítico aos recursos sobreviventes, transformados em muletas do ensino.”

Os poucos estudos existentes sobre as práticas letivas nas escolas fornecem indicadores de um afastamento entre estas e as políticas educativas. Possíveis razões para a discrepância existente entre as duas dimensões podem ser elencadas aos decisores da política educativa que não proporcionaram uma formação de professores coerente com as políticas implementadas, ou que não impulsionaram um novo modelo de avaliação do desempenho docente que valorize aqueles que

verdadeiramente se empenham nas mudanças desejadas. Existem, contudo, duas questões que necessitam de resposta:

- Se os professores considerassem que esta nova filosofia educativa, que propõe práticas pedagógicas descentralizadas e diferenciadas, pudesse contribuir para um ensino de maior qualidade, não seriam eles os primeiros interessados a implementá-la?
- Os professores acreditarão numa abordagem curricular que apenas define as competências que se espera que os alunos adquiram no final da sua formação, não especificando como poderão essas competências ser desenvolvidas?

Aqui reside o problema de fundo. Para alguns investigadores, está mais do que claro que os professores resistem a esta abordagem curricular, porque não acreditam nela, isto é, a ideia de um currículo vago cientificamente, apenas preocupado com as competências a desenvolver, penaliza o ensino. Estes acreditam em filosofias educativas como as praticadas, por exemplo, no Canadá ou nos países nórdicos, onde o modo de atingir os níveis de desenvolvimento pretendidos para cada grupo etário é claramente especificado.

Para outros, os especialistas das Ciências da Educação, a inércia dos docentes na implementação destas políticas trata-se de falta de informação, isto é, na opinião destes académicos, os professores subestimam o conhecimento teorizante produto das investigações realizadas, não compreendendo a sua real importância.

Dez anos após a implementação do *Currículo Nacional do Ensino Básico – Competências Essenciais*, o Ministério da Educação lança às escolas portuguesas um novo desafio, publicando as *Metas de Aprendizagem* com o objetivo de “assegurar uma educação de qualidade e melhores resultados escolares nos diferentes níveis educativos” [34]. Este projeto, inserido na Estratégia Global de Desenvolvimento do Currículo Nacional, tem como objetivo “traduzir e enunciar as aprendizagens que os alunos devem ser capazes de alcançar e de evidenciar, de forma explícita, no final de cada um dos três Ciclos da Escolaridade Básica [35].”

As *Metas de Aprendizagem* são apresentadas como instrumentos de apoio à gestão do currículo e servem de referencial para orientarem os professores na seleção de estratégias de ensino e de avaliação de resultados de aprendizagens. Tendo como pano de fundo os quatro temas organizadores definidos no *Currículo Nacional do Ensino Básico*, foram delineadas metas de aprendizagem para cada domínio (anteriormente designado de tema) e subdomínio (anteriormente identificado como sub-tema). Para cada subdomínio é definida uma meta final que contempla as “aprendizagens definidas por compreensão, de cariz integrador” [35] e metas intermédias, correspondentes a aprendizagens específicas.

O Departamento do Ensino Básico do Ministério da Educação não revelou (pelo menos publicamente) a principal motivação para a realização destas metas. Contudo, uma análise mais atenta (nomeadamente quando as diversas metas intermédias são analisadas) sugere a tentativa do Ministério assegurar que todos os alunos alcancem aprendizagens reconhecidas como essenciais. Este facto contraria, pelo menos em parte, a linha pedagógica que inspirou a supremacia de orientações curriculares em detrimento de um currículo nacional único, com objetivos específicos claros e completamente definidos.

Apesar do documento *Metas de Aprendizagem* ser apresentado como instrumentos de apoio à gestão do currículo, não sendo normativo (o que sugere o seu carácter não obrigatório), o Ministério da Educação pretende avaliar a sua utilidade nas escolas através de um plano de acompanhamento e monitorização. Esta posição, por parte do Ministério, sugere que este documento não seja apenas instrumento de apoio ao currículo, mas parte integrante dele.

A discussão apresentada serviu de reflexão para importantes pontos de discussão decorrentes da perspetiva naturalista de Rousseau. Ao analisar diferentes pontos de vista, ficou claro os benefícios de um ensino baseado na corrente romântica, mas também as suas principais limitações. A ausência de um currículo único e as consequências daí emergentes constituem o ponto de partida para este trabalho de investigação.

DO MOVIMENTO CORE KNOWLEDGE AO ENSINO DA FÍSICA EM PORTUGAL

“The principle that children should enter a new grade already sharing the background knowledge required to understand the teacher and each other is at bottom the principle that enables the functioning of an entire community or nation.”

E. D. Hirsch, *The schools we need and why we don't have them*, 1996

Hirsch fundou, nos EUA, o movimento *Core Knowledge*, uma corrente ideológica que se demarca das visões educativas com raízes nos ideais românticos ao defender a existência de um currículo único, objetivo, capaz de providenciar um ensino mais justo e uniformizador do nível intelectual dos alunos.

Neste capítulo é feita uma breve descrição e apreciação do movimento *Core Knowledge* e da sua influência no presente projeto de intervenção, concretizada na introdução de propostas de planificação rigorosa de aulas de Física no 3.º ciclo do ensino básico.

Posteriormente, é feito um breve diagnóstico de dois pilares importantes no ensino da Física em Portugal, diagnóstico esse que condicionou outras opções do projeto; por um lado, a formação contínua (científica e pedagógica) dos professores e, por outro, uma componente essencial no ensino das Ciências: a realização sistemática e fundamentada de atividades laboratoriais.

3.1 ORIGEM E PRINCIPAIS LINHAS ORIENTADORAS DAS ESCOLAS CORE KNOWLEDGE

A publicação do polémico livro *The Schools we need and why we don't have them* de E. D. Hirsch promoveu e consolidou alterações significativas no sistema educativo americano, que, a partir sobretudo dos anos 60, foi fortemente influenciado por perspetivas de raiz romântica. Contudo, a face mais visível da linha intelectual de Hirsch, presente nesta obra, foi a concretização desta visão no movimento *Core Knowledge*, inicialmente designado *Cultural Literacy Foundation*, fundado em 1986.

A obra Cultural Literacy igualmente da autoria de Hirsch, publicada em 1987, precedeu ideologicamente o livro aqui referenciado.

O *Core Knowledge* é um movimento ideológico que se opõe às correntes educativas românticas atualmente postas em prática em diversos países. Com uma adesão atual nos EUA superior a 900 escolas, distribuídas por 47 estados, este movimento defende que para os alunos serem culturalmente desenvolvidos e dotados de uma maior literacia científica é dever da escola, logo de início, providenciar-lhes um sólido e específico conhecimento (capital intelectual), de forma a poder combater as desigualdades sociais. Assim, defende um currículo único com objetivos claros e exaustivos para cada ano de escolaridade.

As escolas que aderiram ao movimento *Core Knowledge* seguem uma sequência curricular desde o nível *Preschool* (Jardim de Infância) até ao *8th grade* (8.º ano do 3.º ciclo do ensino básico). O facto do *8th grade* constituir o *terminus* deste programa é explicado por se considerar que ele foi desenvolvido para providenciar um conhecimento sólido adequado à entrada da *High School* (ensino secundário) e portanto, um aluno que tenha completado toda a sequência está preparado para qualquer programa posterior.

Para além de uma série de livros que contêm a sequência *Preschool - 8th grade*, que providencia o que deve ser ensinado em cada ano de escolaridade, os professores têm também à sua disposição o *Teacher Handbook*, com sugestões práticas educativas bem como outros recursos e o *Day-by-Day Planner*, um organizador temporal dos conteúdos a lecionar. A fundação providencia igualmente formação aos professores interessados através de *workshops* frequentes.

Apesar do campo de ação deste movimento ser essencialmente nos Estados Unidos da América, o *Core Knowledge* já se estendeu a escolas de outros países como o Canadá, Inglaterra, Coreia e Suíça.

A sequência desenvolvida por Hirsch e sua equipa aposta num currículo coerente, cumulativo e com conteúdo específico. Citando fontes da fundação *Core Knowledge*: “*For the sake of academic excellence, greater equity and higher literacy, elementary and middle schools need to teach a coherent, cumulative, and content-specific core curriculum*”. [4]

Na opinião de Hirsch, a existência de currículos vagos é nefasta ao sucesso escolar. A ausência de um conjunto de conhecimentos sólidos, previamente adquiridos e comuns a uma classe retira ao professor a base de construção do novo conhecimento, promove injustiças entre os alunos e contribui para a indisciplina. Na obra supracitada, Hirsch evoca vários exemplos de escolas que aderiram à filosofia educativa *Core Knowledge* e começaram a ter um maior sucesso em termos de aproveitamento dos alunos e uma maior disciplina nas aulas e na escola.

A corrente romântica é a favor da ausência de *curricula*, de forma a que o professor possa adaptar os conhecimentos às necessidades e gostos de cada aluno. Assim, os objetivos de cada aula devem ser estipulados pelo professor, para este proceder à adaptação necessária. Este

Todo o material pedagógico bem como todo o tipo de informação deste movimento encontra-se disponível em www.coreknowledge.org.

pressuposto, segundo Hirsch, propõe aos professores uma liberdade difícil de gerir, porque estes deveriam fazer esse trabalho de uma forma sistemática e cuidada. Na prática, este processo faz com que muitas vezes o professor perca a noção de adaptar a cada nível, a exigência merecida. Cai-se, deste modo, num facilitismo nefasto e injusto socialmente, uma vez que a escola não garante a todos os alunos o mesmo corpo de conhecimento no processo educativo.

Este movimento insiste na ideia de que não existe incompatibilidade entre seguir um currículo bem definido e único com adaptar o mesmo às necessidades individuais de cada aluno. Faz parte da sensibilidade de um professor reconhecer que cada aluno é único e, portanto, deve usar as metodologias mais adequadas para responder às suas necessidades; mas é seu dever que todos os alunos partilhem um conhecimento comum, porque é este que dilui as desigualdades sociais e contribui para criar alunos mais competitivos e cultos.

Na opinião de Hirsch [6], as teorias educacionais sempre assentaram em dois princípios fundamentais e igualmente importantes: rigor e flexibilidade. Nas últimas décadas, nos EUA, (nomeadamente a partir dos anos 60), o rigor começou a perder adeptos em favor da flexibilidade, porque a pedagogia dominante baseou-se no ideais românticos. Para este autor, para se ser instruído é inevitavelmente importante adquirir uma grande quantidade de conceitos de coisas concretas e específicas, é importante a literacia cultural (*"cultural literacy"*), não basta a destreza tão aclamada pelos românticos. Note-se que já Gramsci apelava a uma educação capaz de dar ao estudante uma bagagem cultural. Para Hirsch não basta apenas esta bagagem cultural, mas também aquilo que ele chama de vocabulário nacional (*"national vocabulary"*).

Hirsch não discute a importância da aquisição de competências na vida letiva, concorda, aliás, que esse é um objetivo muito importante para os alunos, mas insiste que necessita de ser sempre precedida de muito conhecimento de base. A aquisição das mais variadas competências não é oposta à memorização de conteúdos e mecanização; a primeira não pode ser desenvolvida sem as posteriores. A competência *aprender a aprender*, tão proclamada pelos pedagogos da corrente romântica, tem tanto de sublime como de virtual. *Aprender a aprender* desenvolve-se à medida que os princípios básicos da Ciência, da Matemática e da expressão oral e escrita vão sendo assimilados pelo aluno e só estes podem ser os alicerces de uma longa vida de aprendizagem.

Assim, apesar do capital intelectual não ser condição suficiente para a aquisição de competências, é condição necessária, isto é, há uma correlação positiva entre o capital intelectual e as competências desenvolvidas. Hirsch reforça inúmeras vezes que a defesa deste capital intelectual não implica que a aquisição tenha de ser puramente mecânica, isto é, que os alunos tenham de memorizar um conjunto de factos. Apesar da memorização e da mecanização permitirem graus

de compreensão mais elevados, são insuficientes. É importante que o professor ajude os alunos a aprender como usar da melhor maneira os seus estilos de aprendizagem e potenciais, em articulação com a resolução de problemas do dia-a-dia, mas é enganador sugerir que, na ausência de um corpo sólido de conhecimento, os alunos consigam desenvolver competências tão abstratas.

A evidência que Hirsch cita para defender as suas posições é vasta e não se resume ao sucesso das escolas que aderiram ao *Core Knowledge Movement*; inclui a análise dos sistemas de ensino dos países que obtêm melhores resultados em testes internacionais de aferição, a evolução dos SAT scores (teste estandardizado de admissão aos *Colleges* Americanos) ao longo dos anos, em particular a evidência de que o hiato entre os resultados dos Brancos e Afro-Americanos ter parado de diminuir a partir dos anos sessenta, e vários casos de investigações educacionais.

Neste projeto adotou-se a posição do movimento *Core Knowledge* relativamente à importância de uma planificação rigorosa do tempo da aula, com explicitação de objetivos claros e concretos de aprendizagem. Os módulos descritos à frente foram objeto de um reflexão e discussão prévia, tendo em conta problemas de aprendizagem identificados na literatura; os objetivos levaram em conta as sugestões curriculares, e as necessidades de construção de um capital de conhecimento, que pudesse servir de base a uma progressão e aprofundamento posterior nos assuntos de cada módulo. Estas considerações sustentaram as propostas de organização dos tempos letivos e dos respetivos conteúdos e estratégias.

3.2 ENSINO DA FÍSICA EM PORTUGAL: DIAGNÓSTICO

Sem pretender entrar em pormenores técnicos nem discussões heréticas, é importante analisar e discutir dois problemas que têm comprometido o ensino da Física em Portugal: a polémica formação contínua dos professores e a reduzida e/ou modesta utilização das atividades laboratoriais.

3.2.1 Formação de professores

As exigências científicas e sociais que se colocam aos professores, enquanto obreiros do conhecimento e da inovação, conduzem à necessidade de uma maior e melhor preparação por parte destes. Vários professores e investigadores têm-se pronunciado sobre a importância de uma formação contínua da classe docente, uma vez que a melhoria do sistema de ensino passa essencialmente pela formação e atitude destes. Ao professor é reclamado permanentemente um conjunto de tarefas exigentes, complementares e complexas que requerem uma constante

atualização de índole científica e pedagógica e de vastos saberes profissionais. Assim, o reconhecimento da importância da formação contínua como complemento da formação inicial parece ser consensual. No entanto, as formas de perspetivar e viver a formação têm sido diversas.

Em Portugal, é consagrado o Regime Jurídico da Formação Contínua de Professores, com a publicação do Decreto-Lei n.º 242/92 de 9 de Novembro (com as alterações introduzidas pela Lei n.º 60/93 de 20 de Agosto e pelo decreto-lei n.º 274/94 de 28 de Outubro), onde se pode ler que a formação contínua tem como objetivos *"a melhoria da qualidade do ensino, através da permanente atualização e aprofundamento de conhecimentos, nas vertentes teórica e prática; o aperfeiçoamento da competência profissional e pedagógica dos docentes nos vários domínios da sua atividade; o incentivo à autoformação, à prática de investigação e à inovação educacional; a viabilização da reconversão profissional, permitindo uma maior mobilidade entre os diversos níveis e graus de ensino e grupos de docência"*. Cabe a instituições do ensino superior e a outras entidades a capacidade de organizar e ministrar as referidas ações de formação. É neste contexto que surgem os Centros de Formação das Associações de Escolas (CFAE's), resultantes de agrupamentos de escolas de uma determinada área geográfica.

Na prática, são os CFAE's que promovem ações de formação sobre os mais variados temas, pelo que, segundo Peres [36]:

"os planos de atividades de formação não têm sido desenhados a partir do diagnóstico de cada situação concreta, dos constrangimentos organizacionais e das necessidades dos professores, valorizando os planos de formação das escolas, consubstanciados nos projetos educativos. Por outro lado, as dificuldades em recrutar formadores e os efeitos perversos que os créditos introduziram no processo de formação, não têm permitido a criação de grupos de trabalho munidos de metodologias de investigação-ação com vista à compreensão, melhoria e transformação da vida das escolas e da profissão professor. Mais ainda, as modalidades de círculo de estudos, oficinas de formação e outras relativas à formação centrada na escola, embora legitimadas, não têm conseguido construir a formação como um elemento estruturante da vida das escolas porque a cultura burocrática, individualista, o medo e a desconfiança não têm permitido um envolvimento dos diferentes parceiros na partilha e procura de soluções para os vários problemas que afetam as comunidades educativas."

Neste panorama, a formação contínua de professores tem sido caracterizada pela lecionação de módulos mais relacionados com questões

organizacionais da própria escola do que com conteúdos científicos, específicos da área de conhecimento de cada professor, o que tem trazido muitas vozes de descontentamento entre a classe docente.

Gabriel Mithá Ribeiro critica a formação de professores desde a raiz defendendo que esta tem “dois fortes inimigos e uma aliada de peso”:

“É portanto uma luta com francas hipóteses de sucesso, se assumida pelo poder político. Os inimigos são, por um lado, as Ciências da Educação (claramente distintas da Psicologia, ainda que a orgânica de algumas instituições as confundam) que se materializaram em escolas superiores de educação, e todas as filosofias de ensino que elas representam, em grande parte responsáveis pela mediocridade reinante dado divulgarem de forma acrítica pedagogias e didáticas que se tornaram verdadeiras epidemias. Por outro lado, os outros inimigos são os núcleos de estágio existentes nas escolas, com destaque para os orientadores, figuras com um peso forte na reprodução do status quo, escolhidos sem critérios coerentes, aos quais não é exigido sequer competência científica ou académica (para além da duvidosa experiência de dar aulas) e a eles cabe atribuir a classificação de maior peso na avaliação profissional dos docentes.

A aliada, para que se transforme o atual panorama, é a Universidade. (...) organismos verdadeiramente académicos que se preocupam, acima de tudo, com o saber propriamente dito, sem preocupações específicas em formar professores numa amálgama de generalidades.” [29]

Os professores que, tal como Mithá Ribeiro, assumem que o professor só pode contribuir para uma boa formação científica do aluno, se ele também tiver uma formação contínua com profissionais do ensino superior, alertam para o facto das formações com carácter não científico serem também importantes. Para estes professores, as necessidades da formação docente são, inegavelmente, múltiplas, porém essa formação deveria ser direccionada sobretudo para determinados conteúdos dos programas que estes lecionam. Para além destas formações obrigatórias, os professores poderiam depois aprofundar, de acordo com as suas motivações e apetências, outras áreas.

A importância da Universidade na formação contínua dos professores ganha um estatuto ímpar para os docentes, isto porque só ela poderá reforçar o âmago da docência - a componente científica. Sobre o papel crucial das Universidades na formação dos professores, Mithá Ribeiro acrescenta:

“em vez de a formação contínua ao longo da carreira se preocupar em ensinar como fazer, algo que se adquire sobretudo pela experiência, dever-se-ia preocupar em desenvolver nos docentes como pensar, em particular no contexto da disciplina que lecionam” [29].

A preparação académica (científica) dos professores não é condição suficiente para o sucesso do ensino [37], a qualquer nível, mas é definitivamente condição necessária. Investigações no ensino da Física mostram que os professores tendem a ensinar da maneira como aprenderam [38], o que sugere a importância de uma preparação científica e pedagógica dos futuros professores nas Universidades e posteriormente na vida ativa [39].

Na opinião de Carlos Fiolhais, a doença da ignorância científica que atravessa o nosso país é sobretudo devido à debilitada formação de professores. Num artigo intitulado *“Educação científica: os males e os remédios”* escrito há mais de dez anos, expõe o problema que continua atual [33]:

“Arranjam currículos adequados, instalações ótimas, com laboratórios, computadores e tudo, e esqueçam-se dos professores habilitados. O resultado é obviamente desastroso. Um bom professor é a chave para o sistema funcionar. Mas os bons professores que temos (e temo-los) são-no em ambiente hostil. (...)

Deslumbrado com os milhões para a formação, um ministro de um ex-governo chegou a declarar que ele próprio a podia ministrar. O resultado do voluntarismo foi o descrédito geral dos cursos. O lema parece ser “anything by anyone”, tal é a proliferação de temas triviais dados em “eduquês”. Que fazer? Melhorar a formação inicial. Fazer formação contínua séria. A ligação reforçada da comunidade escolar com a comunidade científica, onde a aquisição do saber está - ou devia estar - entranhada, é o único modo de enfrentar o problema dos recursos humanos. Trata-se de uma solução lenta que sai do corpo dos intervenientes. Não há prestidigitações que substituam o saber sedimentado e ele demora a sedimentar. A comunidade educativa, reconhecendo este princípio nuclear, saberá premiar os professores que aprenderem mais as suas matérias e transmitirem a vontade de saber aos seus alunos. Saberá distinguir as escolas que forem melhores.”

Num outro projeto desenvolvido em Portugal, o projeto Faraday [40], os respetivos coordenadores, após experiência que adquiriram na concretização do projeto, realçam que só é possível aproximar a vivência

da disciplina de Física e Química do que é uma atividade científica, se existir uma formação científica regular e permanente dos professores. Por outro lado, este projeto revelou ainda que a formação e acompanhamento dos professores foi essencial para a sua viabilização, preconizando a importância da formação científica permanente dos docentes ligada de uma forma muito estreita à sua atividade letiva. Note-se que na área da Física, a formação científica contínua é de extrema importância, não apenas pela natureza da própria disciplina, como também pelo facto da maioria dos professores de Física e Química terem apenas uma formação inicial na área de Química [41].

O modelo de formação contínua deste projeto transcendeu, de algum modo, esta polarização, formação pedagógica *vs* formação científica, ao centrar a formação na ação concreta do professor em relação aos conteúdos planificados. As questões de natureza científica foram naturalmente abordadas na discussão dos conteúdos, e os professores viram frequentemente alterados e aprofundados os seus conhecimentos como resultado da formação. Os benefícios pedagógicos desta evolução científica foram óbvios e imediatos na medida em que ela foi suscitada pelas necessidades de lecionação dos materiais.

3.2.2 *Ensino Experimental*

A Física é uma ciência experimental, por isso aprendê-la implica muitas vezes aprender, experimentando. Desta forma, o trabalho experimental, prático ou laboratorial, ganha força na educação, porque é parte integrante no ensino de uma disciplina científica. Designaremos por atividades laboratoriais (AL's) todas as atividades de cariz prático, que podem decorrer no laboratório ou na sala de aula, existindo ou não controlo de variáveis. Neste tipo de atividades, geralmente, os alunos manuseiam material/equipamento do laboratório ou do quotidiano.

As AL's despertam uma importante multiplicidade sensorial, exigindo o envolvimento do aluno ao nível afetivo (ao facilitar a aprendizagem dos conhecimentos científicos), cognitivo (ao desenvolver nos alunos competências para o uso de processos científicos) e ao nível das capacidades/habilidades – nível psicomotor (ao ensinar competências laboratoriais, através do manuseamento de materiais, por exemplo, e ao desenvolver atitudes científicas como o rigor e a curiosidade).

No domínio social, este tipo de atividades cria um processo de construção pessoal do conhecimento que é modelado e determinado tanto por fatores cognitivos, como por fatores não-cognitivos que podem funcionar como ativadores ou inibidores do desenvolvimento prático da ação.

Os alunos podem aprender mais e melhor quando interagem ativamente com os seus pares [42, 43]. As AL's, sendo uma atividade cooperativa de aprendizagem centrada no trabalho de grupo, constituem-se como imprescindíveis ao serviço do ensino das Ciências. Neste contexto, os membros aprendem a negociar o que fazer e como fazer, os materiais a utilizar, no fundo, aprendem a resolver problemas, refletindo.

As AL's podem falhar em todos os seus objetivos, se não forem pensadas e implementadas com a reflexão e ponderação devidas. Não há um modelo único para as AL's: nalguns casos ele pode ser do tipo "receituário" com pouco grau de abertura; noutros casos são investigações, porque os alunos fazem a previsão do que vai acontecer, planificando várias estratégias para dar resposta ao problema; noutros até, o importante é simplesmente aprender a manusear certos materiais. Uma atividade experimental é, inevitavelmente, uma atividade de natureza científica, portanto, investigativa, com graus de abertura adequados aos diversos contextos de ensino e aprendizagem, por isso deve abranger atividades, do mais simples até ao mais exigente, não descurando o grau de importância que tem cada uma delas.

Um currículo com AL's que se pretenda equilibrado não pode contemplar apenas uma única tipologia, porque isso iria limitar o seu potencial. Por outro lado, muitas vezes a teoria é necessária para a realização das AL's, outras vezes são elas o ponto de partida para uma boa discussão teórica. Desta forma, diferentes tipos de protocolos permitem desenvolver diferentes tipos de competências. Cabe ao professor a tarefa de refletir os objetivos de cada AL, para assim aplicar o modelo mais adequado. Assim, a seleção das atividades a implementar deve ter em consideração que o valor didático de uma atividade advém da sua adequação ao contexto e ao objetivo que se pretenda atingir.

Após décadas do ensino experimental ter sido defendido e apesar de ser consensual a sua importância na aprendizagem da Física, investigadores e professores têm diferentes perspetivas acerca da sua utilidade e da forma como ele pode ser concretizado em sala de aula. Ao longo dos tempos, vários modelos de aulas laboratoriais foram estudados e testados no sentido de desenvolver nos alunos competências essenciais, como a capacidade de observar, medir, registar dados, aplicar técnicas laboratoriais, testar hipóteses ou mesmo planificar e executar experiências que permitissem investigar novos fenómenos e resolver problemas do quotidiano [44].

Na realidade, muitos especialistas desta área defendem que o baixo sucesso das AL's nas escolas é devido maioritariamente aos professores as encararem como puramente lúdicas, encorajando os alunos a divertir-se e a motivar-se ao mexer nos materiais, mas descurando o raciocínio que deve estar associado a este tipo de atividade.

As aulas laboratoriais devem tornar-se num fórum de debate e negociação de conceções e representações da realidade. Resultará assim

num espaço de conhecimento compartilhado, no qual os alunos são vistos como indivíduos capazes de construir, modificar e integrar ideias. Terão oportunidade de interagir com outras pessoas, com objetos e situações que exijam envolvimento e disporão de tempo para pensar e refletir acerca dos seus procedimentos, das suas aprendizagens e dos problemas que têm de superar.

Eugenia Etkina e a sua equipa investigaram o tempo que os alunos demoravam a desenvolver competências científicas¹ mais complexas e de que forma este tipo de aulas afetava as competências que os estudantes desenvolviam. Uma das conclusões do estudo é que os alunos precisam de realizar várias atividades bem estruturadas para desenvolver competências científicas e que, dependendo de cada competência específica, seria necessário um período de cinco a oito semanas de laboratório [44].

A nível nacional, apesar dos professores reconhecerem que a educação científica fica incompleta se não forem realizadas atividades laboratoriais, vários estudos revelam que estas são raramente utilizadas ou, simplesmente, não são realizadas adequadamente [41].

Salienta-se, por exemplo, um estudo desenvolvido por Dourado [45] que tinha como principal objetivo efetuar o diagnóstico das conceções e práticas de professores portugueses de Ciências Naturais relativas à implementação integrada de atividades laboratoriais e de campo. Os dados recolhidos através de um questionário, junto de trezentos e oito professores, mostraram que, apesar de considerarem viável a implementação integrada das AL's, não foram capazes de dar exemplos que ilustrassem, de facto, esse tipo de implementação.

Vários estudos nacionais [41, 46] e internacionais revelam que o trabalho experimental é pouco utilizado em sala de aula. Os professores apresentam frequentemente razões justificativas para as AL's não serem desenvolvidas: turmas com elevado número de alunos, falta de material, indisponibilidade do laboratório e falta de tempo por parte dos docentes para a sua preparação e implementação. A estes fatores acresce o facto das AL's comprometerem o cumprimento dos programas e a dificuldade sentida pelos professores em controlar e avaliar os alunos neste tipo de aulas.

No *Livro Branco da Física e Química (opiniões dos alunos 2003)* [41], os investigadores concluíram que a maioria dos alunos gosta de AL's, mas não as considera como a estratégia de ensino mais eficaz para a sua aprendizagem, apesar de constituírem fonte de motivação para o estudo daquelas disciplinas. Sobre este resultado, os investigadores apontam a pouca regularidade, a fraca relevância dada na classificação final e os critérios de avaliação menos explícitos e rigorosos, como fatores que podem estar na origem desta incongruência. Por outro lado, para

¹ *Scientific abilities*, no formato original.

estes, os resultados podem ser explicados com a diferente tipologia de abordagem feita pelos professores relativamente às AL's.

Outra conclusão relevante deste estudo é que as AL's praticadas nas disciplinas de Física e Química não corresponde, em geral, nem ao preconizado nos programas nem às expectativas e interesses dos alunos, devido ao pouco tempo que os professores despendem com elas. Assim, as AL's no ensino básico deveriam ser mais frequentes, para que todos os alunos ganhem literacia científica e os que prossigam estudos nestas áreas fiquem mais bem preparados.

Na opinião dos autores deste estudo, é necessário criar uma área de investigação educacional que permita estabelecer as relações objetivas entre as experiências realizadas no laboratório e o aproveitamento dos alunos, passando pela relação fundamental entre aquelas e a sua contribuição para uma melhor aprendizagem das Ciências [41].

Igual conclusão foi apresentada por Rosália Vargas, em 2005, num seminário do CNE [32]: *“A experiência verificada no ensino secundário aponta para uma sobrevalorização de protocolos muito rígidos, limitando assim o espaço de intervenção dos alunos, sobretudo ao nível da formulação das hipóteses e na condução autónoma das experiências. Verifica-se ainda uma tendência crescente para a utilização de equipamentos muito sofisticados e, em muitos casos, inadequados, face às necessidades dos professores e dos alunos.”* Vargas faz uma recomendação que *“aponta para a criação de um currículo obrigatório de atividades experimentais para o ensino básico”*.

Numa análise mais crítica, o facto das AL's requererem, da parte do professor, uma preparação científica e pedagógica mais aprofundada e, ao mesmo tempo, uma maior logística na preparação do material, faz com que acabem por ser esquecidas, sendo substituídas frequentemente por demonstrações feitas pelo docente. Talvez por isso, a maioria dos estudos pareça concordar na necessidade de investir mais na formação dos alunos, futuros professores, para que se implemente adequada e frequentemente AL's. Este objetivo seria inteiramente concretizado se, a nível universitário, existisse coordenação entre os conceitos científicos e a aplicação/concretização pedagógica.

Contrariamente ao preconizado no ensino secundário, em que as AL's são de carácter obrigatório, no ensino básico a “liberdade” incentivada pelas orientações curriculares deixa antever um menor recurso a este tipo de aulas, o que, por um lado, compromete o desempenho dos alunos no ensino secundário e por outro impossibilita alunos que não sigam Ciências e Tecnologias de desenvolverem competências essenciais que o ensino experimental promove.

Recentemente, nas *Metas de Aprendizagem* apresentadas na disciplina de Ciências Físico-Químicas (3.º ciclo), as atividades laboratoriais assumem um papel relevante tal como é evidenciado nos enunciados ao pretender-se que o aluno explique, *“recorrendo também a simulações”*; revele *“pensamento científico (prevendo, planificando, experimentando, ...)”*

e interprete “*em situações laboratoriais concretas*”; planifique e execute um “*mini-projeto prático*” ou “*explique, com base na planificação e realização de experiências*”.

Em resumo, ao planear atividades laboratoriais é importante ter em atenção vários aspetos: a sua regularidade; o seu entrosamento com toda a atividade letiva (não pode ser um extra dispensável); a viabilidade da sua realização, não exigindo investimentos de tempo irrazoáveis; a sua avaliação; a criação de um ambiente de aprendizagem e discussão à volta da atividade que ponha em jogo a atividade intelectual do estudante. Neste projeto tentou-se dar resposta a este conjunto de necessidades através do conceito de *estações experimentais*.

No que tange à designação deste tipo de aulas, isto é, aulas em que o aluno é envolvido ativamente através de estações, adotar-se-á o termo de aulas laboratoriais. Apesar das estações apresentarem diferentes tipologias, algumas das quais experimentais, segundo a designação de alguns autores [47], considerou-se vantajoso simplificar e apresentar uma única terminologia.

Parte II

PROGRAMA DE INTERVENÇÃO

ENQUADRAMENTO DA INVESTIGAÇÃO

“É necessário levar o estudante a progredir etapa a etapa, começando a perceber os conceitos, dos mais elementares aos mais complexos. Paralelamente é necessário formalizá-los em situações gerais. Finalmente é desejável aplicá-los criativamente. (...) Para raciocinar criticamente sobre um assunto é preciso começar por conhecê-lo.”

Nuno Crato, O “Eduquês” em discurso direto, 2006

Neste capítulo, apresenta-se o programa de intervenção que serviu de base à investigação realizada. São apresentadas as questões e hipóteses da investigação e são discriminados os objetivos gerais e específicos. Após o enquadramento da investigação é apresentada a filosofia triade deste projeto: currículo único, AL’s e formação de professores.

O programa de intervenção foi elaborado, tendo como pano de fundo as competências gerais e específicas preconizadas pelo documento da tutela *Orientações Curriculares do Ensino Básico*, e focou-se na preparação, implementação e avaliação de cinco módulos distribuídos pelo 7.º e 8.º anos. Todos os módulos desenvolvidos incluem planos de aulas pormenorizados (tendo por base estudos nacionais e internacionais) e todo o tipo de material necessário à sua concretização, como seja, materiais de apoio ao professor bem como *kits* para as aulas laboratoriais. Todos os módulos foram apresentados e analisados com os professores do grupo experimental.

Após a apresentação do programa de intervenção, explica-se o processo que conduziu à seleção de escolas e docentes para integrar cada grupo e faz-se uma caracterização sucinta de cada escola interveniente.

O capítulo termina com a apresentação dos módulos desenvolvidos.

4.1 CONTEXTO E PROBLEMA

Há fortes indicadores de alguns pilares fundamentais, consensuais no seio académico, que se constituem como condição necessária para a concretização de um ensino de qualidade: trabalho experimental sistemático e formação científica e pedagógica de professores. Contudo, a vantagem da existência de um currículo único que possibilite aos professores trabalhar com objetivos claros e bem definidos, previamente estipulados por uma equipa de especialistas que os enuncie e

os organize numa perspetiva longitudinal não recolhe consenso entre professores e especialistas na área da Educação [6, 18, 48].

Inspirado no movimento *Core Knowledge*, esta investigação apresenta-se como uma tentativa de implementação de alguns dos seus princípios no ensino da Física no 3.º ciclo do ensino básico e, conseqüentemente, sua posterior avaliação. A reflexão promovida pelo *Core Knowledge* influenciou este projeto ao sensibilizar para o facto da aquisição de competências e desenvolvimento de uma aprendizagem significativa só ser possível com a existência de um capital de conhecimento comum, garantido por objetivos de aprendizagem muito específicos, concretos e universais, determinados, pelo menos em parte, pelas características intrínsecas dos conhecimentos e competências que se pretendem ir acumulando ao longo do processo educativo.

De acordo com a norma orientadora *Orientações Curriculares do Ensino Básico*, emanada pelo Departamento Básico do Ministério da Educação, o ensino das Ciências aspira a que os alunos adquiram não apenas conteúdos e princípios físicos, mas também que desenvolvam competências, como por exemplo, a capacidade de construir modelos explicativos por raciocínio de observações e recolha de dados, a capacidade de desenhar experiências, testar hipóteses, resolver problemas mais complexos do dia-a-dia e saber trabalhar em grupo. Neste documento, o currículo formal dá lugar a decisões curriculares que permitam práticas de ensino e aprendizagem diferentes e há uma maior preocupação em apresentar experiências educativas em vez de conteúdos a abordar.

Considera-se que a organização de um currículo baseado em competências, apesar de ideologicamente interessante, não se torna eficaz na prática, uma vez que os professores não estão preparados para conseguir trabalhá-las e traduzi-las em conteúdos e atividades promotoras de um ensino intelectualmente promissor. Os efeitos cumulativos de um capital intelectual levam à crença de que a aprendizagem formal deve ser iniciada o quanto antes, por isso, é necessário que o ensino básico esteja organizado por etapas que englobem conteúdos claros, harmoniosamente interligados para que permitam ao aluno crescer segundo uma linha intelectual coerente e fundamentada.

Foram preparados e testados em sala de aula módulos de Física, do 7.º e 8.º anos, com dois grupos de alunos: o grupo de controlo e o grupo experimental. No grupo de controlo, os professores lecionaram os módulos como habitualmente, cumprindo os objetivos propostos pelos mesmos, sem qualquer intervenção do projeto. O grupo experimental foi sujeito a aulas com objetivos muito bem definidos, previamente delineados pelo programa de intervenção. A definição dos objetivos para cada aula teve em consideração os princípios organizadores do *Currículo Nacional do Ensino Básico – Competências Essenciais*. As aulas foram construídas no sentido de promoverem o desenvolvimento de

Estudos internacionais confirmam a ideia de que o conhecimento é cumulativo, isto é, que se constrói com base no conhecimento anterior, aliado à necessidade de esforço e dedicação.

competências associadas ao conhecimento (substantivo, processual e epistemológico), raciocínio, comunicação e atitudes.

De acordo com L. R. Gay [49], quanto ao propósito, a presente investigação enquadra-se numa Investigação e Desenvolvimento (I&D) e, quanto ao método, é do tipo experimental, mais propriamente, quasi-experimental pela não seleção aleatória da amostra e dificuldade ou mesmo impossibilidade de um controlo experimental total. De acordo com a nomenclatura de D. T. Campbell e J. C. Stanley [50], o plano experimental consiste em:

O X O (grupo experimental)

O O (grupo de controlo)

Sendo que O significa uma observação/teste (pré e pós-teste) e X o tratamento. O espaço em branco no grupo de controlo significa ausência de tratamento. O pré-teste é igual ao pós-teste.

Este projeto de investigação pretende ensaiar e avaliar, no contexto do ensino da Física em Portugal, as principais propostas do movimento Core Knowledge.

4.2 QUESTÕES, HIPÓTESES E OBJETIVOS DA INVESTIGAÇÃO

A principal questão que inquietou e inspirou esta investigação foi:

- A existência de aulas de Física com objetivos bem definidos e com AL's semanais promove, nos alunos do 3.º ciclo do ensino básico, uma melhoria na aprendizagem e na construção do conhecimento científico?

Formularam-se as seguintes hipóteses de investigação:

- H₁: Os alunos sujeitos ao programa de intervenção têm um melhor desempenho, medido em testes inspirados em propostas nacionais e internacionais, do que os alunos do grupo de controlo.
- H₂: Um currículo no 3.º ciclo do ensino básico que contemple semanalmente aulas laboratoriais é viável nas escolas portuguesas.
- H₃: Aulas laboratoriais semanais, com avaliação e bem integradas no currículo, não comprometem, antes favorecem, a aprendizagem.
- H₄: Um programa construído com base em objetivos não compromete o desenvolvimento de competências.
- H₅: Ao nível do ensino básico, a formação científica é essencial na leção de um currículo coerente e estruturado.

- H_6 : O desenvolvimento de metodologias sustentadas em dados de investigação sobre os modelos mentais pré-existentes dos alunos promove a mudança conceptual.

Os objetivos deste projeto não se resumem apenas à investigação das hipóteses acima mencionadas. Desde o início, deu-se prioridade ao desenvolvimento de práticas pedagógicas integradoras de diferentes componentes e à avaliação da sua eficácia, mesmo que não se torne possível destrinçar o efeito separado de cada uma delas. Mais detalhadamente, os objetivos do projeto foram:

Os materiais desenvolvidos encontram-se no CD que acompanha a tese.

- produzir um conjunto de materiais pedagógicos (experimentais e teóricos), simples, económicos e ao mesmo tempo dotados de elevado rigor científico e valor formativo para professores e alunos;
- comparar os resultados das metodologias utilizadas, dotadas de uma elevada componente laboratorial e orientadas por um conjunto de objetivos pré-definidos, com os resultados das atualmente postas em prática no ensino básico (escolas portuguesas);
- avaliar o impacto de uma atividade de acompanhamento e formação permanente de professores e de uma metodologia baseada em planificações rigorosas e orientadas por objetivos, na introdução de uma prática experimental regular;
- avaliar o papel facilitador da existência de materiais e equipamentos para o ensino básico organizados em *kits* disponíveis para todos os alunos, com uma organização que faculte uma rápida utilização, armazenamento e fácil identificação por parte dos utilizadores;
- avaliar a real importância das AL's para a formação científica dos alunos;
- introduzir propostas concretas e viáveis de avaliação formal nas aulas laboratoriais, através de fichas laboratoriais;
- analisar até que ponto o facto de aulas laboratoriais, elaboradas com objetivos bem definidos, previamente ensaiadas e com o material já preparado, permite um uso mais sistemático deste tipo de atividades.

4.3 FILOSOFIA TRÍADE: CURRÍCULO, AL'S E FORMAÇÃO

O programa de intervenção apostou fortemente em três pilares essenciais: aulas exaustivamente planificadas e com objetivos bem definidos,

trabalho experimental sistemático e formação científica e pedagógica dos professores.

Apesar do projeto ter respeitado as orientações curriculares do *Curriculum Nacional do Ensino Básico – Competências Essenciais*, este possui algumas especificidades próprias, não muito frequentes em relação às práticas mais comuns no ensino básico:

- as AL's foram realizadas com uma periodicidade semanal;
- as estratégias utilizadas resultam de indicadores da investigação nacional e internacional sobre padrões de eficácia no desenvolvimento curricular de cada tópico específico;
- a abordagem em relação a alguns conceitos foi mais profunda por se considerar que a apresentada nos manuais escolares punha em causa, pela sua superficialidade, a racionalidade da construção da visão científica do mundo;
- sempre que possível e sem comprometer o rigor intelectual, procurou-se relacionar os conteúdos com o quotidiano dos alunos, ilustrando o poder da Física como instrumento de compreensão do mundo, tendo sido propostos inúmeros problemas relativos a situações do quotidiano, numa perspectiva CTSA;
- os professores tiveram formação sobre os conteúdos e atividades a desenvolver com os alunos, no que respeita ao aprofundamento da sua própria compreensão dos fenómenos bem como à montagem e realização das atividades laboratoriais.

Em todos os módulos, os professores tiveram formação que incluiu a entrega do material relativo ao módulo: *Kit* do material experimental, planos de aula, fichas de trabalho, fichas laboratoriais e todo o material pedagógico necessário à implementação do módulo. Os objetivos de cada aula foram devidamente explorados e a sequência da aula estudada ao pormenor, no sentido de discutir as metodologias utilizadas. Os professores fizeram várias sugestões, enriquecendo a estrutura da própria aula. Também foram debatidas várias questões científicas, consideradas *à priori* mais sensíveis na estrutura científica dos professores.

Os docentes tiveram acesso a toda a informação que desencadeou a construção de cada módulo. A apresentação de resultados de investigações anteriores, nomeadamente no que concerne às conceções alternativas, constituiu um trabalho pedagógico interessante e que sem dúvida serviu para que os professores tomassem consciência da sua importância na sala de aula. Saber que os erros cometidos pelos alunos por vezes não são dificuldades pontuais e aleatórias, mas que têm uma

origem bem conhecida (geralmente o senso comum) foi imprescindível para que os professores compreendessem a conduta pedagógica e científica proposta.

Em cada módulo, os dois grupos de alunos foram comparados em termos de conteúdos cognitivos adquiridos com a aprendizagem dos mesmos módulos (que englobam, *a priori* os mesmos conteúdos), através da comparação e análise dos respetivos pré e pós-testes.

Este projeto reconhece que é importante reunir ideias independentemente da sua origem e que o melhor guia é a observação de práticas que resultaram bem em larga escala, acompanhadas com uma compreensão fundamentada sobre as causas do sucesso daquelas práticas em determinados contextos.

Considera-se o ensino numa perspetiva eclética, por se reconhecer que o processo ensino/aprendizagem é eminentemente complexo pelo que não há, nem se pretenda que haja, uma única filosofia educativa válida que consiga garantir a excelência deste processo. A diversidade de modos de aprendizagem dos alunos justifica uma oferta simultânea de práticas letivas.

Relativamente ao material utilizado, deu-se primazia a materiais de baixo custo. A ausência de novas tecnologias no projeto ficou a dever-se não a um snobismo face ao novo requismo tecnológico, mas porque a sua utilização não representava vantagens significativas nos módulos desenvolvidos e trabalhados.

Algumas ideias deste projeto não são novas para a maioria dos professores experientes. Ideias como envolver o máximo de sentidos no processo ensino-aprendizagem, relembrar frequentemente os conteúdos lecionados e em ambientes diferentes, assim como estimular os alunos a explicar com as suas próprias palavras os raciocínios relacionados com um determinado fenómeno [51] são estratégias do ensino que chegam facilmente ao professor pela sua própria experiência.

4.4 SELEÇÃO DE ESCOLAS/DOCENTES

Para financiar este projeto foi feita uma candidatura ao programa projeto Ciência Viva PVI/252 - Inovação 2010. As escolas participantes, identificadas na Tabela 1, foram escolhidas pela relação de proximidade que possuem com as Universidades do Porto e Aveiro. O financiamento recebido comprometeu o número de escolas envolvidas no projeto.

Apenas duas escolas usufruíram de financiamento por parte do programa Ciência Viva. O colégio INED Nevogilde autofinanciou-se para poder participar no projeto.

Os docentes do grupo experimental voluntariaram-se para participar no mesmo, pelo que não existiu qualquer processo de seleção por parte

Grupo experimental	Grupo de controlo
Escola EB 2,3 de Sobreira (S)	Escola EB 2,3 de Sobreira (S)
Escola Secundária c/ 3.º ciclo Dr. Jaime Magalhães Lima (JML)	Escola Secundária c/ 3.º ciclo Dr. Jaime Magalhães Lima (JML)
Colégio INED Nevogilde (IND)	Escola Secundária c/ 3.º ciclo de Santa Comba Dão (SCD)
	Escola Secundária Filipa de Vilhena (FV)
	Escola EB 2,3 D. Afonso Henriques (AH)

Tabela 1: Escolas participantes no projeto

dos coordenadores do projeto. Os professores do grupo de controlo foram contactados pelos professores referidos anteriormente e pelos professores coordenadores do projeto, no sentido das suas turmas constituírem o grupo de controlo. O número de professores que liderou o grupo experimental encontra-se, por escola, na Tabela 2.

Escola	Número de professores envolvidos no grupo experimental
JML	7
IND	3
S	2

Tabela 2: Número de professores participantes no projeto

A aplicação dos módulos decorreu em 3 anos: 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010.

Segue-se uma caracterização resumida das escolas envolvidas no trabalho de investigação:

- **Colégio INED Nevogilde**

Situado na freguesia de Nevogilde, concelho e distrito do Porto, o colégio INED (Instituto de Educação e Desenvolvimento) possui alunos de um meio socioeconómico bastante homogéneo, cujos pais, maioritariamente com formação universitária, se inserem nos segmentos médio-alto e alto da sociedade. Estes alunos, na sua generalidade, são muito empenhados e pretendem desenvolver um percurso escolar sólido capaz de promover um prosseguimento de estudos para o ensino superior.

As descrições de cada escola foram feitas tendo como base os Projetos Educativos respetivos.

O INED Nevogilde é a única escola privada incluída no estudo. Permitiu verificar a eficácia destas práticas letivas numa classe de alunos com elevado grau de investimento na obtenção de formação. Uma das professoras deste colégio é a autora do trabalho de investigação, participando diretamente com duas turmas: uma do 7.º ano e outra do 8.º ano.

- **Escola Secundária c/ 3.º ciclo Dr. Jaime Magalhães Lima**

A Escola Secundária com 3.º Ciclo Dr. Jaime Magalhães Lima encontra-se no perímetro urbano de Aveiro, mais propriamente na freguesia de Esgueira. É constituída por alunos provenientes de uma franja cultural muito diversificada, resultante de uma combinação urbana (centro da freguesia) e rural (lugares periféricos). Verifica-se uma considerável taxa de desemprego entre os encarregados de educação, reflexo, em parte, das suas baixas habilitações académicas.

Trata-se de uma escola com estreita ligação à Universidade de Aveiro, explicada pelos diversos grupos de estágio que integra e pela dinâmica dos professores que a constituem.

- **Escola EB 2, 3 de Sobreira**

A Escola Básica 2,3 de Sobreira encontra-se integrada na região do Vale do Sousa, mais concretamente no concelho de Paredes que dista, aproximadamente, 30 km do Porto. Do ponto de vista socioeconómico, a escola integra uma população híbrida dado que é constituída por alunos de estratos diferenciados. Contudo, a grande maioria dos alunos é proveniente de famílias carenciadas de baixos recursos, facto confirmado pelo elevado número de educandos apoiados pelos Serviços de Ação Social Escolar. Os encarregados de educação têm, na generalidade, poucas habilitações académicas e registam uma fraca participação na vida escolar dos seus educandos. Esta escola teve alunos do grupo experimental e do grupo de controlo.

- **Escola Secundária c/ 3º ciclo de Santa Comba Dão**

Santa Comba Dão pertence ao distrito de Viseu, localizando-se sensivelmente a meio do percurso entre a capital da Beira Alta e a cidade de Coimbra. Apesar dos alunos desta escola serem provenientes de um contexto sociofamiliar heterogéneo, verifica-se maioritariamente um

défice cultural característico de um nível socioeconómico reduzido. O baixo nível de escolaridade dos pais e encarregados de educação aliado ao seu fraco envolvimento no acompanhamento escolar, potenciam as reduzidas expectativas destes alunos relativamente ao seu futuro profissional.

As turmas da Escola Secundária c/ 3.º ciclo de Santa Comba Dão serviram unicamente como turmas de controlo.

- **Escola Secundária Filipa de Vilhena**

Localizada na freguesia mais populosa do concelho do Porto - Paranhos - e simultaneamente da Área Metropolitana do Porto, a Escola Secundária Filipa de Vilhena inclui alunos provenientes de uma estrutura socioeconómica variada. A escola, apesar de inserida no meio urbano, possui uma localização geográfica privilegiada (bons acessos) e encontra-se muito próxima de importantes serviços ligados à educação (Polo Universitário da Asprela) e saúde (Hospital de S. João e IPO) que a transformam numa das principais áreas de oferta de emprego de toda a Área Metropolitana do Porto. A elevada densidade populacional e diversidade socioeconómica traduzem-se, obrigatoriamente, na sua população escolar que tem origem quer em bairros camarários, quer em áreas residenciais da classe média-alta. Além dos alunos oriundos desta freguesia, há ainda os que vêm de outras freguesias da cidade, ou mesmo dos seus arredores, em virtude da localização privilegiada da escola, junto a uma das entradas da cidade.

- **Escola EB 2, 3 D. Afonso Henriques**

A Escola EB 2,3 D. Afonso Henriques localiza-se na cidade de Guimarães. Aproximadamente metade dos alunos inscritos beneficiam da Ação Social Escolar, o que permite antever um nível socioeconómico frágil. Quase todos os alunos residem na cidade e um número considerável de alunos precisa de acompanhamento por parte da psicóloga, devido a défices na aprendizagem ou de conflitos em casa/familiares. A maioria das famílias é numerosa (com dois ou mais filhos) e os encarregados de educação registam níveis de escolarização baixos (um número exíguo concluiu o ensino superior). A percentagem de pais que estão no desemprego é pouco significativa e a grande maioria tem uma situação estável a nível profissional.

4.5 MÓDULOS DESENVOLVIDOS

Quer por razões práticas, quer metodológicas, cedo se revelou aconselhável focar o projeto no desenvolvimento de um número reduzido de módulos. Por um lado, os professores que iniciaram o projeto iriam apenas lecionar 7.º e 8.º anos, por outro, devido à contenção orçamental do programa de financiamento, ter-se-iam de escolher apenas temas que, na opinião dos professores, estavam a ser trabalhados de forma menos satisfatória nas escolas portuguesas. No 7.º ano, a escolha recaiu no capítulo *Planeta Terra*, inserido no tema organizador *Terra no Espaço*, originando dois módulos relativos aos dois subtemas;

- Terra e Sistema Solar
- Movimentos e forças

No 8.º ano, teria de se escolher, dentro do tema organizador *Sustentabilidade na Terra*, Som ou Luz. Optou-se pela Luz, uma vez que o Som era o primeiro tema a lecionar no início do ano, o que poderia comprometer o projeto de investigação. Quando o professor inicia o ano letivo com uma turma que desconhece possui prioridades muito próprias como o estabelecimento de regras. Além disso, por uma questão de rigor intelectual e coerência científica, não fazia sentido desenvolver apenas parte do módulo pelo que se optou desenvolver o tema Luz em quatro módulos:

- Características e comportamento da luz
- Espelhos planos
- Refração
- A cor

No 7.º ano, os dois módulos estenderam-se por 8 aulas. No 8.º ano foram desenvolvidos quatro módulos num total de 9 aulas. A duração de cada aula foi de 90 min. Na maioria dos módulos, os professores puderam dividir cada aula de 90 min em componente teórica (45 min) e componente laboratorial (45 min). As escolas que tinham tempos letivos de 45 min fizeram as respetivas adaptações.

AVALIAÇÃO DO ENSAIO: TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Este capítulo apresenta e justifica as técnicas e instrumentos utilizados para a avaliação do projeto: quantitativamente, através da análise estatística dos pré e pós-testes de ambos os grupos (testes de escolha múltipla) e de questionários realizados aos professores do grupo experimental, qualitativamente, através de entrevistas abertas feitas aos professores, durante a formação e após a implementação de cada um dos módulos.

5.1 INTRODUÇÃO

Qualquer programa de ensino, por melhores estratégias que possa sugerir, deve ser alvo de uma avaliação rigorosa e sistemática, para que não se corra o risco de confundir o empenho individual dos seus intervenientes, com o aparente sucesso do projeto [52]. Durante esta investigação, procedeu-se a uma avaliação essencialmente quantitativa. Contudo, dada a natureza do ensaio, justificou-se conhecer o *feedback* dos professores, antes e após a implementação do programa, uma vez que são eles que têm a palavra final na sala de aula. São os professores que, deparando-se com as condições únicas de uma turma, operacionalizam um programa com adaptações permanentes, e vivem de perto a reação dos alunos.

Antes dos módulos serem implementados, a autora do projeto aplicou-os aos seus alunos e, através de uma observação direta, extraiu alguns indicadores que permitiram uma revisão, antes do programa de intervenção ser implementado.

O inquérito por questionário foi a técnica de recolha de dados preferencialmente adotada para proceder à análise quantitativa. Os alunos do grupo experimental e de controlo foram sujeitos a testes de escolha múltipla, antes (pré-testes) e após a leção (pós-testes) dos módulos previstos. A adoção desta técnica é justificada pela natureza desta investigação, mas também pelo elevado número de alunos abrangidos pelo projeto, pelos baixos custos e, simultaneamente, pelo tempo disponível para a análise e publicação dos resultados.

Apesar de permitirem uma maior uniformidade nos critérios de correção com consequente redução do erro, os testes de escolha múltipla têm reconhecidas limitações, como seja, a impossibilidade de analisar e avaliar ideias mais estruturadas sobre determinados conceitos, bem

como a criatividade na resolução de problemas reais, aspetos que não se coadunam com o propósito deste projeto de investigação. Contudo, vários estudos revelam que há uma correlação positiva forte entre os resultados obtidos neste tipo de teste e as competências académicas dos alunos, tornando-se, portanto, ótimos indicadores. Em Portugal, o desenvolvimento e a aplicação de métodos estatísticos para testes de escolha múltipla têm tido um papel significativo na melhoria dos métodos de aferição de aprendizagens [53].

Num passado recente, Ferrão desenvolveu um projeto de investigação intitulado *Estatística e Matemática para o Desenvolvimento de Competências Profissionais*, onde mostrou a existência de uma correlação positiva forte (0.85) entre os resultados dos alunos em testes de resposta aberta e nos testes de escolha múltipla. Estes resultados sugerem a adoção deste tipo de instrumentos numa perspetiva da avaliação formativa. Adicionalmente, foi aplicado um questionário aos alunos sobre a sua opinião relativamente aos testes de escolha múltipla. As respostas indicaram que os alunos apoiam a adoção deste tipo de testes como instrumento de avaliação [53].

Ver Anexo A.

Todos os questionários elaborados são de curta duração. Esta opção foi feita tendo por base a opinião de alguns professores que consideraram que um teste mais longo poderia comprometer a atenção dos estudantes e a sua *performance*, dado tratar-se de alunos muito novos (11-12 anos). Por outro lado, poderia também reduzir o número de turmas de controlo, uma vez que a realização de testes mais longos comprometeria o cumprimento das planificações.

Ver Anexo B.

Relativamente à análise quantitativa foram ainda realizados questionários aos professores intervenientes. Estes questionários foram anónimos e pretendiam recolher a opinião dos professores sobre alguns itens do projeto. Serviram igualmente para confirmar e completar a informação proveniente de entrevistas informais feitas aos professores.

5.2 ANÁLISE QUANTITATIVA

A avaliação quantitativa foi feita através da análise dos pré e pós-testes (Anexo A) de ambos os grupos. Estes tinham como objetivo:

- confirmar conceções alternativas e formas de pensar sobre um determinado fenómeno (teste diagnóstico);
- identificar o grau de conhecimento de ambos os grupos no sentido de averiguar a possibilidade das amostras poderem ser consideradas equivalentes¹;

¹ Não há seleção aleatória dos sujeitos de investigação e portanto os grupos poderiam não ser equivalentes.

- avaliar o impacto do programa de intervenção através da análise comparativa dos resultados obtidos por cada aluno entre o pré e o pós-teste (verificando a possibilidade das conceções alternativas terem sido ultrapassadas).

Alguns professores, não envolvidos no projeto, foram convidados a verificar se as questões dos pré/pós-testes eram adequadas às diretrizes curriculares [31]. Esta opção permitiu garantir que as questões incluídas no teste não favoreciam o grupo experimental.

Em todos os módulos, procedeu-se à validação de conteúdo por um painel de especialistas (geralmente dois professores do ensino básico/secundário e um professor do ensino superior), no sentido de averiguar em que medida os enunciados do teste mediam o que se pretendia avaliar e em que medida o teste como um todo avaliava os conteúdos do tema em estudo.

Para proceder a uma análise quantitativa, foi feito um tratamento estatístico aos pré/pós-testes realizados pelos alunos. Os dados referentes aos resultados dos pré e pós-testes dos dois grupos foram inseridos no *software* SPSS 18.0. A cada aluno foi atribuído um código de acordo com o ano, a escola, a turma e o número.

Antes da aplicação dos testes estatísticos, foram analisadas as frequências de todas as opções, por questão, nos pré e pós-testes. Esta análise focou-se inicialmente nas respostas dos pré-testes, no sentido de encontrar padrões de respostas comuns aos dois grupos e já identificados em literatura específica da área. Posteriormente, e tendo por base a análise dos pós-testes, pretendeu-se saber a evolução dos alunos após lecionação.

Ainda numa fase de estatística descritiva, por módulo, foi calculado o ganho normalizado em cada grupo, tendo por base as médias dos pré/pós-testes respetivos. É usual medir o ganho de conhecimento:

$$G = R_2 - R_1 \quad (5.1)$$

onde $R_{1(2)}$ é a média da classificação no pré(pós)-teste.

O ganho da média normalizado é dado por:

$$g = G/(M - R_1) \quad (5.2)$$

em que M corresponde à cotação máxima e $M - R_1$ representa o ganho máximo possível.

Este processo foi repetido questão a questão, para assim analisar pormenorizadamente, a evolução de cada questão em ambos os grupos.

Passando para uma fase posterior, designada inferência estatística, e antes da aplicação dos testes estatísticos, analisaram-se os histogramas da distribuição das classificações dos alunos antes e depois da

Foi utilizado o software SPSS 18.0 para proceder a um tratamento estatístico dos dados.

lecionação das unidades temáticas. Os ajustes de gaussianas aos histogramas pareciam seguir distribuições normais. Contudo, realizando o teste de *Kolmogorov-Smirnov*, em todos os módulos obteve-se um $p\text{-value} = 0.000$, o que indica a rejeição da hipótese de uma distribuição normal. Pensa-se que a não normalidade é resultado das classificações dos testes tomarem valores discretos. Por conseguinte, foram utilizados em todos os módulos testes não paramétricos (*Mann-Whitney U* e *Wilcoxon*) [54], apesar dos testes paramétricos terem conduzido às mesmas conclusões em todos os casos.

O teste de *Mann-Whitney U* foi utilizado em dois momentos: numa primeira fase, para comparar os pré-testes de ambos os grupos, no sentido de averiguar a existência de diferenças significativas entre eles e, numa segunda fase, para comparar os pós-testes entre os grupos com a mesma finalidade discutida anteriormente. Já o teste de *Wilcoxon* foi utilizado para saber se dentro de cada grupo ocorriam diferenças significativas do pré para o pós-teste.

Os *outputs* do teste de *Wilcoxon* permitiram igualmente saber a percentagem de alunos que, em cada grupo, tinham melhorado e/ou piorado a sua *performance*. Para complementar a informação sobre a evolução de cada grupo, é sempre apresentado um gráfico *boxplot* (diagramas de extremos e quartis) que mostra a diferença entre a classificação de cada aluno entre o pós e o pré-teste.

Em alguns módulos, o tipo de respostas de cada aluno é sugestivo de um determinado modelo mental, de entre alguns que foram identificados na literatura. Nesse casos, a análise estatística dos resultados permitiu tirar conclusões sobre a evolução dos alunos entre os diferentes esquemas mentais, como consequência da atividade letiva.

A finalizar a análise é sempre apresentado um gráfico com as médias dos pré/pós-testes por escolas. Este tipo de gráfico permite analisar a evolução de cada escola, por módulo, e avaliar a sua *performance* ao longo de todo o ensaio.

No final da implementação do programa, todos os professores responderam anonimamente a um questionário. O inquérito por questionário foi a técnica de recolha de dados escolhida para analisar, numa perspectiva quantitativa, as opiniões dos professores.

5.3 ANÁLISE QUALITATIVA

Esta investigação não efetuou os procedimentos necessários para seguir uma metodologia qualitativa, preferindo uma medição mais sistemática e por isso, quantitativa.

Reconhece-se que uma caracterização mais completa do impacto e eficácia das propostas pedagógicas poderia ter beneficiado de uma recolha

de informação das reações dos alunos, por inquérito por questionário ou inquérito por entrevista. Contudo, alguns fatores inviabilizaram essa recolha. Desde logo, os constrangimentos temporais do projeto implicaram uma reduzida experiência de lecionação de cada módulo², sem a possibilidade de corrigir trajetórias ou opções feitas face à experiência. Num contexto de investigação experimental existe sempre a possibilidade de revisitar a experiência e corrigir deficiências de planeamento, reveladas pela primeira abordagem. Numa investigação em Educação, com recursos limitados, isso nem sempre é possível. Por outro lado, algumas das propostas metodológicas do projeto só poderiam ser avaliadas num contexto de alguma continuidade, com a realização de vários módulos, cobrindo uma parte significativa da atividade letiva em cada ano. Este facto, conjugado com a dimensão média do estudo em número de alunos, não permitiu uma investigação exaustiva e pormenorizada de todas as componentes de cada módulo.

Contudo, e apesar da ausência de uma reconhecida metodologia qualitativa, considerou-se de extrema importância a recolha de informação por parte dos professores para poder proceder a avaliações formativas, isto é, avaliações internas no sentido de melhorar a qualidade dos materiais em tempo útil. Esta recolha consistiu, essencialmente, numa primeira fase, na análise e discussão de aspetos específicos dos módulos em questão e, posteriormente, no *feedback* dos alunos e dos próprios professores após implementação.

Estas entrevistas foram não estruturadas (abertas) de forma a garantir aos entrevistados uma maior flexibilidade e fluidez nos tópicos a abordar. Por outro lado, este tipo de entrevista permitiu-nos discutir questões que não foram antecipadamente pensadas e perceber as diferenças individuais entre professores na aplicação dos mesmos módulos [49, 50]. As entrevistas foram cruciais para este estudo porque os professores envolvidos, na sua maioria, são muito experientes e por isso, capazes de comparar, qualitativamente, esta prática letiva com a anterior.

² À exceção do módulo *A Cor*, que foi implementado durante três anos letivos.

ELEMENTOS ESTRUTURANTES COMUNS AOS MÓDULOS

Este capítulo discute a importância de dois elementos estruturantes na construção deste ensaio: o conhecimento das concepções alternativas dos alunos nos diferentes domínios e a realização de AL's regularmente.

O conhecimento prévio que os alunos têm sobre determinados fenómenos, antes de qualquer instrução académica, tem um efeito decisivo na forma como os alunos aprendem. Torna-se portanto necessário conhecer previamente as explicações e interpretações dos alunos para traçar currículos e práticas pedagógicas mais eficazes.

O trabalho experimental ganha visibilidade neste capítulo pela apresentação do modelo segundo o qual vai ser aplicado: as estações experimentais. Após descrição detalhada deste formato de aplicação de atividades laboratoriais, pouco comum nas escolas portuguesas, são apresentadas as principais vantagens da sua aplicação.

6.1 CONCEÇÕES ALTERNATIVAS E MUDANÇA CONCEPTUAL

Este projeto de investigação privilegia indicadores resultantes de estudos nacionais e internacionais na construção de cada módulo. Analisaram-se, para cada caso particular, as ideias que os alunos naturalmente possuem sobre determinados conceitos e que são decorrentes maioritariamente da sua própria experiência individual: as concepções alternativas. Estas ideias intuitivas são explicações persistentes, baseadas em observações diárias e divergem muitas vezes dos conceitos cientificamente aceites. A designação de concepções alternativas surge por se tratar de *“ideias que aparecem como alternativas a versões científicas de momento aceites, não podendo ser encaradas como distrações, lapsos de memória ou erros de cálculo, mas sim como potenciais modelos explicativos resultantes de um esforço consciente de teorização”*. [55]

Estas ideias são comuns entre estudantes de diferentes idades e de diferentes meios, são identificadas de modo semelhante nas mais diversas culturas (transculturalidade), e constituem um grande obstáculo na aprendizagem dos estudantes, pois começam a ser desenvolvidas muito cedo, praticamente desde a infância.

A resistência à mudança é porventura a característica mais marcante das concepções alternativas porque frequentemente permanecem após a instrução formal ou, noutros casos, resultam em novas compreen-

sões/ideias muito diferentes das desejadas [56]. Na prática letiva, o conhecimento destas ideias cientificamente incorretas ajuda o professor a escolher cuidadosamente a linguagem que utiliza, bem como o alerta para ideias que possam ser reforçadas através dos manuais escolares.

Muitos programas interativos de ensino foram desenvolvidos e testados [15, 57, 58, 59, 60] no sentido de ajudar os alunos a compreenderem melhor a Física, contudo, a distância entre a investigação em Educação e as práticas letivas continua presente, o que impossibilita os professores de saberem a origem destas concepções e como podem ser ultrapassadas.

Nas últimas duas décadas, professores e investigadores por todo o mundo tornaram-se particularmente sensíveis a este conhecimento não científico devido à sua importância no processo de aprendizagem. De acordo com Vosniadou, os estudantes iniciam o seu processo de aquisição de conhecimento pela organização das experiências quotidianas em coerentes modelos mentais [61]. Estes facilmente deslizam em referenciais teóricos inválidos cientificamente e com frequência escondem a aquisição do conhecimento correto [62].

Chi e Roscoe realçam que há dois tipos de concepções: umas que são facilmente revistas e corrigidas pela instrução formal e outras que são muito robustas e altamente resistentes à mudança [63]. Ainda assim, de acordo com investigações anteriores, estas ideias são geralmente estáveis e as estratégias de ensino convencionais no domínio da Física trazem poucas vantagens no sentido de as ultrapassar [64].

Estas descobertas são concordantes com o modelo de aprendizagem construtivista que assegura que os alunos não adquirem simplesmente nova informação; eles reorganizam a nova informação com a anterior, (re)construindo ativamente uma nova estrutura mental.

Nos seus variados formatos, o construtivismo tornou-se uma visão de aprendizagem muito consensual entre investigadores. O processo pelo qual os alunos acomodam o novo conhecimento com os modelos mentais já existentes já foi analisado e estudado por vários teóricos e a mudança conceptual foi um dos resultados dessa reflexão. Apesar de Posner *et al.* não providenciar uma definição formal de mudança conceptual [65], foram enumerados várias condicionantes que promovem a sua concretização na estrutura mental do aluno. Por exemplo, tem que existir desagrado em relação às concepções existentes e a nova abordagem tem que ser inteligível e inicialmente plausível (racional).

Assim, no sentido de promover mudança conceptual, é crucial promover nos estudantes a consciencialização das limitações do seu próprio modelo. Não é, contudo, suficiente induzir dissonância cognitiva, os estudantes precisam de sentir a necessidade de uma revisão do modelo existente e o novo modelo precisa de ser convincente [66]. É da competência do professor desenvolver práticas pedagógicas que possibilitem ao aluno o confronto direto entre a incoerência das suas ideias e a evidência experimental.

Ver capítulo 2 -
Construtivismo.

Muitas visões concorrentes sobre o conceito de mudança conceitual foram apresentadas com vista à sua clarificação [61, 63, 67], ao mesmo tempo que foram desenvolvidos vários métodos de ensino para promovê-la [68, 69, 70, 71, 72].

Quando os conteúdos científicos a lecionar têm por base concepções alternativas, a sequência da aula não se deve limitar a apresentar o conceito científico com a evidência necessária, mas dar oportunidade ao processo de substituição e consolidação.

Os alunos começam a construir novas ideias, baseadas num raciocínio inteligível, devendo agora ampliar esse novo conhecimento, utilizando-o em situações diferentes daquelas em que foi aprendido. Quando o aluno reflete sobre o novo conhecimento conseguido e conclui que este é mais útil e explicativo, está a desenvolver uma motivação intrínseca para aprender.

As ideias resultantes do senso comum dos alunos, abundantemente espelhadas na literatura, foram o ponto de partida para a construção das planificações desenvolvidas neste ensaio; procurou-se, em primeiro lugar, conhecer essas concepções e as formas pelas quais elas se manifestavam, bem como algumas indicações de estudos já realizados para as combater.

6.2 ESTAÇÕES EXPERIMENTAIS

As vantagens do ensino experimental são há muito conhecidas no seio académico; a sua utilização ajuda os alunos a compreender a Ciência como uma atividade prática racionalmente interpretada e deve constituir um espaço de oportunidades para que os alunos possam mobilizar os seus interesses, saberes, estratégias de aprendizagem e experiências anteriores. Apesar de ser considerado ferramenta imprescindível, vários estudos revelam subutilização e fraca envolvência cognitiva e procedimental dos alunos na sua realização.

Ver subcapítulo 3.2.2

No ensino básico, nível por excelência onde se pretendem desenvolver competências e vocações científicas, o problema torna-se mais sério, dado que as orientações curriculares não vinculam obrigatoriedade na sua realização.

Dada a importância deste tipo de atividades no ensino das Ciências e cientes das inúmeras dificuldades da sua implementação, anteriormente discutidas no subcapítulo 3.2.2, este projeto aderiu a um modelo que apostou na realização de estações experimentais.

6.2.1 Caracterização

As estações experimentais constituem uma excelente oportunidade para realizar aulas laboratoriais, uma vez que vários dos fatores apon-

tados como entraves são agora ultrapassados por um sistema mais organizado e dinâmico. Este modelo mostra que para aceder a um ensino experimental de qualidade não é obrigatório instrumentos técnicos muito sofisticados nem um espaço físico específico. Distancia-se das clássicas aulas laboratoriais em que os alunos realizam simultaneamente a mesma atividade, o que exige repetição de material e limita a quantidade e qualidade de atividades ao longo do ano.

Nas aulas com estações experimentais, a sala de aula (laboratório) é organizada em bancadas (mesas), cada uma delas com uma estação experimental diferente. Os estudantes, divididos em grupos de três ou quatro elementos, percorrem sucessivamente as estações experimentais, cumprindo diferentes atividades/tarefas práticas previstas, ao mesmo tempo que apresentam as suas respostas numa ficha/documento orientador elaborada/o pelo professor.

As fichas laboratoriais desenvolvidas encontram-se no CD que acompanha a tese.

Na ficha laboratorial são apresentados os contextos sociocientíficos e/ou situações-problema; eventuais procedimentos com diferente grau de abertura; as questões a responder sobre a estação respetiva e indicações sobre perigos e segurança, entre outra informação. Algumas das respostas solicitadas aos alunos podem ser escritas, incluir a realização de simulações e/ou produção de factos a apresentar oralmente ao professor que avalia, imediatamente, o desempenho do(s) aluno(s) e/ou do grupo.

Por questões logísticas, todas as estações devem ter duração aproximada para facilitar a rotação dos grupos por todas elas. Sugere-se, igualmente, que o número de grupos coincida com o número de estações experimentais; quatro estações experimentais por aula é o aconselhável. Por desempenhar um papel central no processo de aprendizagem e para permitir desenvolver competências [44], torna-se imprescindível que ocorram com regularidade, se possível com periodicidade semanal.

Devido à sua organização, as estações experimentais permitem que este tipo de aulas constitua um espaço de oportunidades para que os alunos possam mobilizar os seus interesses, saberes, estratégias de aprendizagem e experiências anteriores. A função do professor é monitorar o trabalho de cada grupo, dando *feedback* constante, ajudando-os sempre que necessário, ao mesmo tempo que procura que se tornem responsáveis e independentes.

6.2.2 Vantagens

São dez as vantagens apresentadas para a realização de AL's com recurso a estações:

- Versatilidade de tarefas;
- racionalização do material;

- rentabilização do tempo de aula;
- avaliação formativa sistemática e ensino personalizado;
- racionalização do tempo despendido pelo professor na preparação e arrumação do material;
- promoção do trabalho de grupo;
- versatilidade relativamente ao nível de ensino e aos conteúdos programáticos;
- possibilidade de combinar atividades práticas laboratoriais com simulações/demonstrações virtuais;
- Laboratório móvel;
- motivação.

1. Versatilidade de tarefas

Um currículo equilibrado não pode contemplar apenas um único tipo de atividades, porque isso limitaria o enriquecimento que este género de atividades poderia desenvolver nos alunos. Muitas vezes a teoria é necessária para a realização de AL's, outras vezes ela é o ponto de partida para uma boa discussão teórica. As estações experimentais permitem, de uma forma sistemática, diversificar o tipo de trabalho prático, contribuindo para o desenvolvimento de diferentes competências e aumentando a probabilidade de ocorrerem e de se consolidarem aprendizagens. Por outro lado, o facto de existirem estações experimentais diferentes e independentes entre si, permite ao aluno, caso sinta dificuldades em resolver uma delas, tentar resolver outras diferentes.

Cada estação laboratorial pode ser construída com diferentes objetivos; os alunos podem manipular materiais e equipamentos, observar, medir, registar dados, aplicar técnicas experimentais a novos problemas, formular hipóteses para serem testadas, formular e responder a novas questões baseadas na investigação realizada e explicar relações. Na mesma aula, o professor pode incluir tarefas com diferentes graus de dificuldade, desde as mais simples, como observar ou cumprir um procedimento já descrito (menor grau de abertura), até às mais complexas envolvendo os alunos em todos os passos do raciocínio científico, como testar hipóteses ou mesmo planejar e executar experiências para investigar um fenómeno, com ou sem controlo de variáveis, no sentido de dar resposta a uma questão-problema relevante.

2. Racionalização do material

Na maioria das situações é suficiente um exemplar de cada aparelho/material uma vez que os alunos percorrem todas as estações. Este facto permite aprender ciência com pouco material e com ampla variedade de atividades. O material envolvido deve ser, sempre que possível:

- de baixo custo, havendo no entanto, instrumentos de medida ou materiais/equipamentos experimentais mais onerosos mas insubstituíveis;
- simples e conhecido do aluno, evitando que este se centre em aspetos técnicos irrelevantes e desviando a sua atenção daquilo que é essencial e solicitado;
- de fácil manuseamento e que não ofereça elevados riscos de segurança, devendo existir no *kit* as instruções técnicas, se possível ilustradas, e informação essencial sobre riscos e regras de segurança a adotar, na eventualidade dos materiais envolverem alguns riscos.

3. Rentabilização do tempo de aula

Os alunos têm tempo específico para realizar as tarefas de cada estação (geralmente de dez a quinze minutos). Este aspeto permite dinamizar a aula, intensificar a cooperação entre os elementos do grupo e a capacidade de decisão, para além da motivação em concluir a atividade para passar para outra diferente. O número de estações experimentais pode ser reduzido atendendo ao tempo disponível e à situação-problema a dar resposta via laboratorial, nomeadamente quando os alunos têm de planificar a atividade a desenvolver.

4. Avaliação formativa sistemática e ensino mais personalizado

A ficha laboratorial usada em cada estação permite ao professor avaliar o desempenho dos alunos e o grau de consecução de aprendizagens esperadas. Estudos neste campo mostram a importância de um constante *feedback* e os ganhos que uma atenção sistemática a este tipo de avaliação tem na aprendizagem dos alunos [73]. Para além disso, informa o professor, em tempo real, das aprendizagens conseguidas e/ou a necessitar de serem revisitadas por parte dos alunos. O professor, ao supervisionar os alunos nas diversas atividades, pode avaliar o modo como os alunos manipulam, interagem, discutem ideias, aplicam e constroem conhecimento, indicadores formativos importantíssimos,



Figura 1: O material necessário para cada estação experimental encontra-se organizado por *kits*

alguns dos quais impossíveis de detetar e avaliar com testes de papel e lápis. Nas estações que envolvem simulações ou demonstrações práticas, a avaliação é feita pelo professor na presença do grupo, podendo o mesmo dar *feedback* imediato do desempenho conseguido, face ao desejável.

5. Racionalização do tempo despendido pelo professor na preparação e arrumação do material

Todo o material utilizado em cada estação laboratorial está organizado num *kit* específico e inclui a lista de material, uma figura legendada com a montagem prática esperada, o que facilita a distribuição, arrumação e controlo do material aquando da sua recolha. Os materiais comuns a várias estações experimentais, como por exemplo os instrumentos de medida, são colocados em *kits* ou armários próprios. Este material fica arrumado e pronto a ser usado em utilizações posteriores e por vários professores (Figura 1).

6. Promoção do trabalho de grupo

A possibilidade de partilhar conhecimento conceptual e processual reveste-se de primordial importância, não só porque muitas das dificuldades sentidas pelos alunos podem ser resolvidas mais rápida e eficazmente pelos seus pares [43], como também propicia a aprendizagem da democracia e dos seus valores. O trabalho de grupo favorece assim as atitudes de escuta, a capacidade de expressão, a troca de ideias, a negociação, o respeito e a tolerância, permitindo um processo de construção pessoal do conhecimento modelado por fatores cognitivos e não-cognitivos. As estações experimentais são organizadas por grupos de trabalho, o que promove o trabalho participativo e cooperativo; frequentemente os membros aprendem a negociar o que fazer e como fazer, os materiais a utilizar, no fundo aprendem a resolver problemas

refletindo uns com os outros. Neste tipo de atividades é manifesta a intenção explícita do professor em valorizar o aluno, as suas competências e valias culturais de modo a torná-lo mais autónomo.

A formação de grupos de nível homogéneo, apesar de alguma contestação pedagógica, é muitas vezes propiciadora de aprendizagens mais significativas uma vez que encoraja a participação de todos e aumenta o número de interações, já que o “poder do conhecimento” não é assumido por nenhum dos elementos do grupo. O mesmo não acontece em grupos heterogéneos em que o aluno com maior nível de desenvolvimento de competências acaba por inibir o pensamento e a ação de outros e consequente desenvolvimento. Um aluno mais desenvolvido tende a centrar em si a realização das tarefas a fim de conseguir uma boa classificação, especialmente se for um aluno cuja preocupação principal é o êxito escolar. A organização em grupos de nível facilita a correção e avaliação, pelo professor, do trabalho realizado uma vez que basta recolher um documento por grupo. Também permite ao professor apoiar e supervisionar grupos que apresentem mais dificuldades. No entanto, é fundamental que o professor:

- lidere a sala de aula;
- insista no trabalho de grupo, pois os alunos demoram algum tempo a acomodar-se a esta forma de trabalho cooperativo;
- proceda a ajustes periódicos nos grupos mediante o reconhecimento de evoluções dos alunos, evidenciadas nos resultados escolares, incentivando-os a melhorar os seus desempenhos.

A formação dos grupos é da responsabilidade do professor, tendo como referência os resultados escolares. No entanto, outros fatores podem também ser considerados, como a motivação e expectativa dos alunos.

7. Versatilidade relativamente ao nível de ensino e aos conteúdos programáticos

Este formato de aula laboratorial pode ser aplicado a qualquer nível de ensino, com maior ou menor grau de abertura e exigência, consoante a especificidade de cada ano, turma ou conteúdos programáticos. O facto das aulas laboratoriais serem periódicas (de preferência semanais) faz com que as estações experimentais incidam sobre a mesma área temática.

8. Possibilidade de incorporar simulações/demonstrações virtuais

As simulações em computador têm, em determinadas circunstâncias, francas vantagens relativamente a atividades experimentais: permitem, por exemplo, que alunos observem/ realizem determinados processos que comprometem a sua segurança, possibilitam abordar separadamente aspetos que estão inextricavelmente associados numa experiência real, facilitando uma aproximação mais gradual aos fenómenos, permitem a “visualização” de processos macroscopicamente invisíveis e destacam pormenores pedagógica e cientificamente mais relevantes. Apesar de atividades práticas experimentais e simulações virtuais serem tratadas muitas vezes como recursos concorrentes, estudos revelam que a sua combinação traz mais vantagens no que respeita a uma aprendizagem mais significativa [74]. A mais valia do uso de uma simulação/demonstração virtual numa estação é que, no caso de existirem poucos computadores disponíveis, todos os alunos podem aceder a este recurso equitativamente ao rodarem pela estação laboratorial.

9. Laboratório móvel

A realização de AL's é muitas vezes dificultada pela ausência de laboratórios livres ou simplesmente pela obrigatoriedade da deslocação dos alunos para estas salas específicas, o que acarreta sempre algum desconforto. O modelo das estações experimentais facilita este processo, uma vez que o laboratório pode ser montado pelo professor em qualquer sala. O professor apenas precisa de levar consigo o *kit* próprio e, num curto espaço de tempo, consegue organizar o material pelas mesas.

10. Motivação

Este tipo de atividades promove o envolvimento mais ativo dos alunos no processo de ensino/aprendizagem, o que permite o aumento do índice de atenção por parte destes. Este fator, aliado à versatilidade das tarefas e à possibilidade de trabalhar em grupo, motiva alunos e promove a mobilização das aprendizagens ao nível afetivo, cognitivo e psicomotor. As estações experimentais tornam-se desafios interessantes que vão sendo resolvidos numa dinâmica de grupo e, simultaneamente, com um espírito competitivo salutar. O facto de nestas aulas todos os alunos trabalharem em simultâneo e de não existirem alunos parados a ouvir ou a ver, contribui para um aumento da motivação por parte destes.

É importante salientar que estas vantagens só se tornam efetivas se a atividade for regular [44]. Como acontece com qualquer atividade letiva, existe uma necessidade de adaptação progressiva dos alunos, que fica comprometida se a atividade for esporádica.

Neste programa de intervenção, os alunos tiveram AL's semanalmente durante, aproximadamente, 2 meses.

Parte III

INVESTIGAÇÃO E RESULTADOS

SINOPSE

Neste capítulo resumem-se os resultados essenciais dos módulos aplicados, de modo a proporcionar uma visão global da análise quantitativa realizada. Após a apresentação dos principais resultados estatísticos, por módulo e por grupo, é feita uma análise do desempenho dos alunos por escolas. No 8.º ano, os resultados dos alunos ao longo dos módulos, em ambos os grupos, são analisados numa perspetiva longitudinal. No final, são apresentados os resultados dos questionários realizados aos professores.

7.1 UNIDADE: LUZ

No 8.º ano, o programa de intervenção relativo à unidade *Luz* foi desenvolvido em 4 módulos. Foram lecionadas 9 aulas de 90 min, correspondentes a aproximadamente 2 meses. Não há registos da duração desta unidade nas diversas turmas do grupo de controlo. Contudo, este programa foi construído tendo por base a duração normalmente prevista, de acordo com planificações de diferentes escolas. A Tabela 3 apresenta a distribuição de alunos por módulo e por grupo. Todos os módulos tinham a duração de 2 aulas, à exceção do módulo *Refração*, com 3 aulas.

Módulo	Número de alunos		Ganho normalizado	
	Controlo	Experimental	Controlo	Experimental
Caraterísticas e comportamento da luz	198	174	14.1	29.9
Espelhos planos	162	151	3.0	26.0
Refração	162	109	9.7	44.9
A cor	204	250	24.2	64.8

Tabela 3: Distribuição de alunos por módulo e ganho normalizado, na unidade *Luz*

Os dados da Tabela 4, referente à percentagem de alunos que melhoraram e pioraram a sua *performance* em cada módulo, corroboram as principais conclusões da Tabela 3: os resultados do grupo experimental são sempre superiores aos do grupo de controlo.

A *Cor* foi o módulo com o ganho normalizado superior, para ambos os grupos. Situação contrária ocorreu no módulo *Espelhos planos*, que registou os piores resultados, também para ambos os grupos. Contudo, a melhoria do pré para o pós-teste no módulo *Espelhos planos*

Módulo	Aumento da <i>performance</i>		Diminuição da <i>performance</i>	
	Controlo	Experimental	Controlo	Experimental
Caraterísticas e comportamento da luz	58.1	77.0	18.2	8.0
Espelhos planos	37.7	55.6	34.6	14.6
Refração	45.7	89.9	27.2	4.6
A cor	64.2	90.4	19.6	3.2

Tabela 4: Percentagem de alunos que melhoraram e pioraram a sua *performance* na unidade *Luz*

foi significativa no grupo experimental, o mesmo não acontecendo no grupo de controlo. Possíveis explicações para os resultados obtidos são apresentadas nos próximos capítulos, na discussão separada de cada módulo.

A evolução das escolas na lecionação de cada módulo foi igualmente analisada; os resultados estão na Tabela 5. Nas escolas do grupo experimental: IND, JML e S as melhorias foram significativas em todos os módulos. Já no grupo de controlo, a escola S apenas registou melhorias significativas no 1.º e 3.º módulos, a escola FV no 1.º e 4.º módulos, SCD no 1.º, 3.º e 4.º módulos e a escola AH no 3.º e 4.º módulos. Assim, não se registam diferenças significativas assinaláveis entre as escolas do grupo de controlo, apesar da escola SCD ter registado resultados ligeiramente superiores.

Módulo	Diferença Pós - Pré(teste) ¹ (<i>p</i> -value)							
	Experimental			Controlo				
	IND	JML	S	S	FV	JML	SCD	AH
Caraterísticas e comportamento da luz	0.000*	0.000*		0.017*	0.000*	0.002*	0.000*	0.075
Espelhos planos	0.000*	0.000*		0.477	0.933		0.706	0.297
Refração	0.000*	0.000*		0.007*	0.073		0.000*	0.020*
A cor	0.000*	0.000*	0.000*	0.226	0.000*		0.000*	0.000*

(1) Teste de Wilcoxon

* Diferenças estatisticamente significativas para um nível de significância de 0.05

Tabela 5: Principais resultados, por escola, na unidade *Luz*

Os módulos não foram aplicados durante o mesmo ano letivo. Assim, este processo decorreu em 3 anos letivos. No primeiro ano, apenas foi implementado o módulo *A Cor* na escola JML a 4 turmas. No segundo ano, foram implementados os restantes módulos.

Apenas há registo de 86 alunos (4 turmas), no grupo experimental, que tenham realizado todos os módulos. Apesar de, na prática, o número de alunos a realizar todos os módulos ter sido bastante superior,

Multiple Comparisons

Rank of ganhonormalizado by Sujeito
LSD

(i) Teste	(j) Teste	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
G1	G2	-,26744	,179407	,137	-,62075	,08587
	G3	-,44186*	,179407	,014	-,79517	-,08855
	G4	-1,08140*	,179407	,000	-1,43470	-,72809
G2	G1	,26744	,179407	,137	-,08587	,62075
	G3	-,17442	,179407	,332	-,52773	,17889
	G4	-,81395*	,179407	,000	-1,16726	-,46064
G3	G1	,44186*	,179407	,014	,08855	,79517
	G2	,17442	,179407	,332	-,17889	,52773
	G4	-,63953*	,179407	,000	-,99284	-,28623
G4	G1	1,08140*	,179407	,000	,72809	1,43470
	G2	,81395*	,179407	,000	,46064	1,16726
	G3	,63953*	,179407	,000	,28623	,99284

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 1,384.
*. The mean difference is significant at the 0

(a) Grupo experimental

Multiple Comparisons

Rank of ganhonormalizado by Sujeito
LSD

(i) Teste	(j) Teste	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
G1	G2	,13462	,139385	,335	-,13929	,40852
	G3	,15705	,139385	,260	-,11685	,43095
	G4	-,50962*	,139385	,000	-,78352	-,23571
G2	G1	-,13462	,139385	,335	-,40852	,13929
	G3	,02244	,139385	,872	-,25147	,29634
	G4	-,64423*	,139385	,000	-,91813	-,37033
G3	G1	-,15705	,139385	,260	-,43095	,11685
	G2	-,02244	,139385	,872	-,29634	,25147
	G4	-,66667*	,139385	,000	-,94057	-,39276
G4	G1	,50962*	,139385	,000	,23571	,78352
	G2	,64423*	,139385	,000	,37033	,91813
	G3	,66667*	,139385	,000	,39276	,94057

Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 1,515.
*. The mean difference is significant at the 0

(b) Grupo de controle

Figura 2: Teste LSD de Fisher, comparando ganhos normalizados em todos os módulos, nos dois grupos

a ausência de pré ou pós-testes inviabilizou a sua análise. Já no grupo de controle, há registro de 156 alunos, distribuídos por 8 turmas, a realizarem todos os módulos.

Na Figura 2 apresentamos os resultados de uma análise de significância das diferenças de ganho entre os diferentes módulos. Foi realizado o teste LSD de Fisher, após uma análise com a ANOVA de Friedman ter indicado a rejeição da hipótese nula [54]. Verificamos que no grupo experimental há diferenças significativas entre todos os módulos e o módulo 4 e entre o módulo 3 e o módulo 1. Já no grupo de controle, apenas o módulo 4 registra diferenças significativas relativamente aos restantes módulos.

Uma questão que gostaríamos de responder é se existe um efeito cumulativo deste tipo de prática letiva, que conduza a um aumento

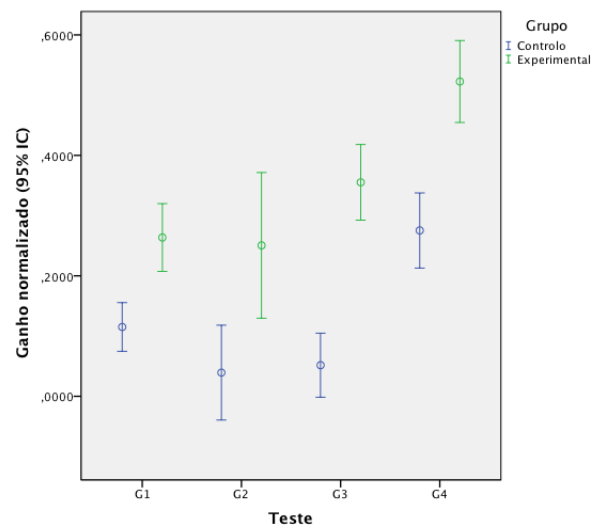


Figura 3: Comparação dos ganhos normalizados dos alunos ao longo dos módulos através de um gráfico com barras de erro

de eficácia nos módulos que são realizados mais tarde. Dado que as estações experimentais põem em jogo competências transversais, seria interessante verificar se os resultados de aprendizagem melhoram de módulo para módulo. Na Figura 3 representamos os intervalos de confiança do ganho normalizado nos diferentes módulos, ordenados pela ordem cronológica de lecionação.

A Figura 3 sugere, no caso do grupo experimental, alguma dependência do ganho normalizado com o módulo. Numa tentativa de encontrar alguma correlação entre estas variáveis, calculou-se o coeficiente de Pearson entre o ganho normalizado de cada aluno e a variável de ordem do módulo (1, 2, 3 e 4), obtendo-se um valor de 0.252 (p -value = 0.000) para o grupo experimental e 0.141 para o grupo de controlo (p -value = 0.000). Para o grupo experimental, indica-nos que, aproximadamente, 25% da variabilidade do ganho normalizado se deve à ordem dos módulos. Apesar destes valores não serem substancialmente elevados, parecem razoáveis face ao seu significado. Com efeito, é de esperar que as diferenças individuais entre alunos deem conta da principal causa de variabilidade.

É precipitado tomar os indicadores anteriores como evidência conclusiva de que há uma melhoria progressiva da capacidade de aprendizagem no grupo experimental; esta análise incide sobre uma única sequência de módulos, e diferenças intrínsecas de facilidade entre eles também pode explicar estes resultados. Contudo, estes dados são, pelo menos, compatíveis com a suposição referida, que merece, por isso, um estudo mais completo. No caso do grupo de controlo, ficou suficientemente clara uma dependência residual do ganho normalizado com a ordem do módulo.

7.2 UNIDADE: PLANETA TERRA

No 7.º ano, a unidade *Planeta Terra* dividiu-se em apenas dois módulos:

- Terra e Sistema Solar
- Movimentos e forças

Foram lecionadas 8 aulas de 90 min, correspondentes a aproximadamente 2 meses (4 aulas para cada módulo). O primeiro módulo tem a duração normalmente prevista na maioria das escolas, o mesmo não acontecendo com o módulo *Movimentos e forças*, que excede 1 aula de 90 min, às normalmente destinadas. A Tabela 6 apresenta o número de participantes de cada grupo, bem como o ganho normalizado em cada módulo.

Módulo	Número de alunos		Ganho normalizado	
	Controlo	Experimental	Controlo	Experimental
Terra e Sistema Solar	203	150	20.9	28.8
Movimentos e forças	187	160	12.5	19.8

Tabela 6: Distribuição de alunos por módulo e ganho normalizado, na unidade *Planeta Terra*

As percentagens de alunos que melhoraram e pioraram a sua performance encontra-se na Tabela 7. O módulo *Terra e Sistema Solar* teve melhores resultados, em ambos os grupos, do que o módulo *Movimentos e forças*. Tal como veremos nos capítulos posteriores, estes resultados são expectáveis, de acordo com as principais conclusões decorrentes de literatura específica da área. Em ambos os módulos, o grupo experimental esteve melhor.

Módulo	Aumento da <i>performance</i>		Diminuição da <i>performance</i>	
	Controlo	Experimental	Controlo	Experimental
Terra e Sistema Solar	68.3	80.7	18.3	10.0
Movimentos e forças	53.6	64.8	22.8	17.2

Tabela 7: Percentagem de alunos que melhoraram e pioraram a sua *performance* no módulo *Planeta Terra*

A evolução das escolas em cada módulo foi igualmente analisada. Na Tabela 8 encontram-se as principais conclusões. As escolas do grupo experimental registaram melhorias significativas em todos os módulos. Relativamente ao grupo de controlo, há a registar melhorias nos dois

Módulo	Diferença Pós - Pré(teste) ¹						
	Experimental			Controlo			
	IND	JML	S	S	FV	SCD	AH
Terra e Sistema Solar	0.001*	0.000*	0.000*	0.000*		0.000*	0.121
Movimentos e forças	0.000*	0.000*	0.001*	0.000*	0.120	0.000*	0.858

(1) Teste de Wilcoxon

* Diferenças estatisticamente significativas para um nível de significância de 0.05

Tabela 8: Principais resultados, por escola, na unidade *Planeta Terra*

módulos nas escola S e SCD. A escola AH não registou quaisquer melhorias significativas.

7.3 QUESTIONÁRIO - PROFESSORES

Os professores responderam a um questionário no final da lecionação dos módulos. Para além das conversas informais, era necessário saber ao certo o impacto que este programa tinha suscitado na prática docente dos professores do grupo experimental. Dos professores envolvidos no projeto, há registo de seis inquéritos.

Ver Anexo B.

Questão	Conteúdo
1.1	Formação científica e pedagógica recebida
1.2	Planificações com listagem de objetivos
1.3	Contribuição das AL's para a formação académica dos alunos
1.4	Avaliação nas AL's através de uma ficha laboratorial
1.5	AL's com estações experimentais
1.6	Existência de <i>Kits</i> para as AL's
2	Eficácia do programa de intervenção no que respeita às conceções alternativas
3	Contribuição do projeto para a solidez do conhecimento adquirido pelo aluno, quando comparado com a prática letiva anterior

Tabela 9: Identificação de cada questão no questionário respondido pelos professores

Na Figura 4, apresenta-se a percentagem de cada opção escolhida em cada uma das questões. Na Tabela 9 encontra-se o conteúdo de cada questão, para uma leitura mais fácil.

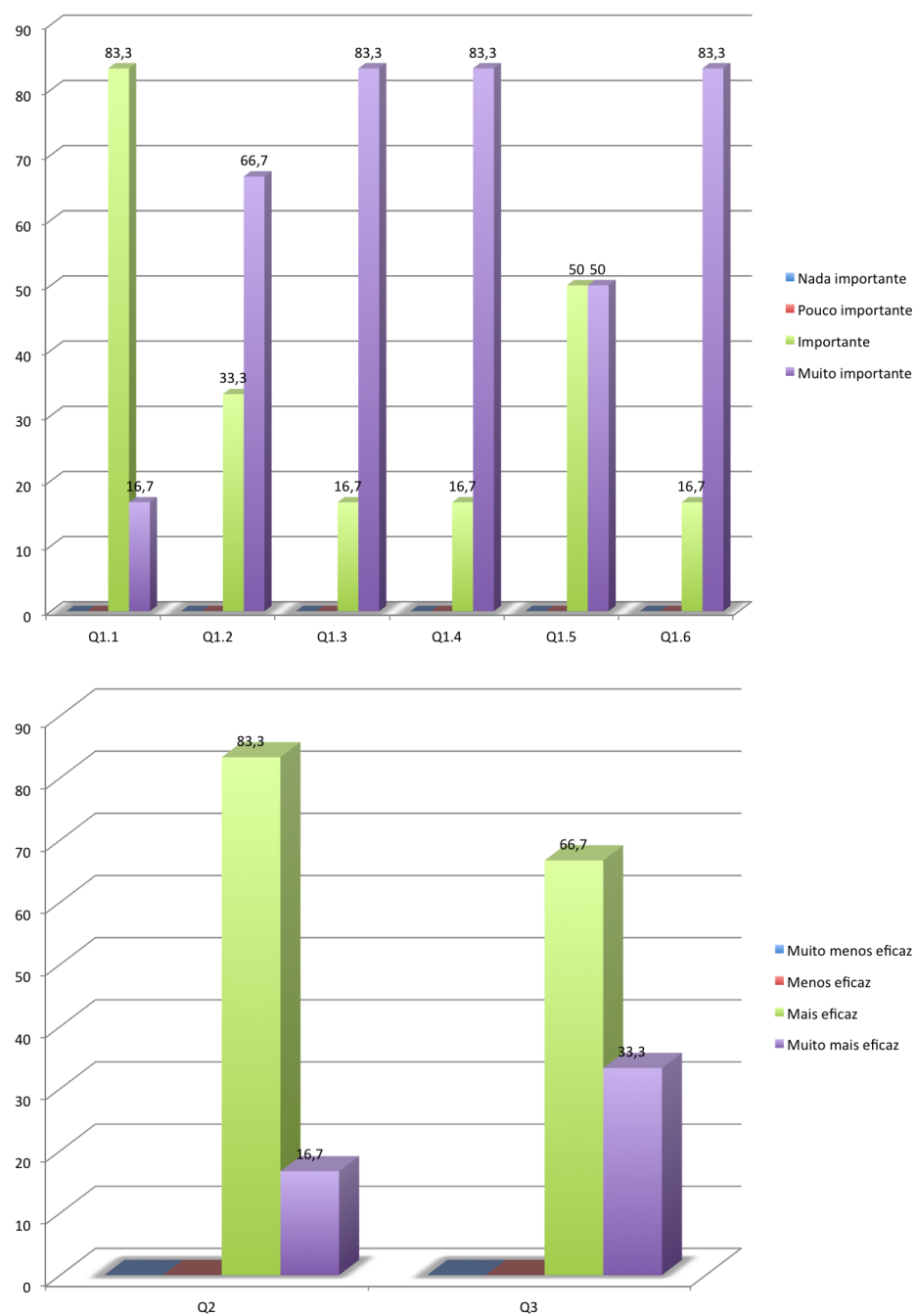


Figura 4: Resultados do inquérito por questionário realizado pelos professores (%)

Os professores consideraram, na sua maioria, que as planificações das aulas com listagem de objetivos, as atividades laboratoriais, bem como a sua avaliação e a existência de *kits* previamente construídos foram fatores muito importantes neste programa de intervenção. É de referir que nenhum professor classificou qualquer um dos itens em “Nada importante/Muito menos eficaz” ou “Pouco importante/Menos eficaz”.

Todos os professores concordaram que a formação que tiveram sobre cada módulo foi importante, não só para compreenderem melhor a filosofia do projeto e pormenores relacionados com a sua implementação, mas também porque aprenderam alguns conceitos científicos importantes.

Na questão Q4 todos os professores referiram que tencionam usar os *kits* disponíveis nos próximos anos letivos. Os resultados das questões Q5 e Q6 são apresentados ao longo da discussão dos módulos.

8.1 PREPARAÇÃO

Quando os estudantes iniciam o estudo da luz, trazem consigo anos de uma vida rica de experiências relativas ao fenómeno da visão. Diversos trabalhos de investigação na área da ótica comprovam que, antes de entrarem na primeira aula de ótica geométrica, os alunos já possuem uma estrutura teórica mental, resultado da aplicação do senso comum à tarefa de organizar e consolidar a sua experiência. Infelizmente, nem sempre o professor consegue gerar e resolver um conflito capaz de forçar a substituição desta estrutura teórica, incompleta e inconsistente, mas forte e coerentemente edificada [75].

Nas últimas décadas foram realizados inúmeros estudos sobre as concepções espontâneas dos alunos sobre os fenómenos óticos [52, 75]. Estas investigações estenderam-se a alunos de várias idades e foram realizadas utilizando as mais diversas técnicas, desde inquéritos por entrevista (individuais ou em grupo) a inquéritos por questionário, com diagramas realizados pelos alunos a explicar determinados conceitos.

A recolha de concepções alternativas, abundantemente documentadas na literatura [76, 77, 78, 79], permitiu-nos proceder a uma sistematização das principais ideias que importa considerar ao nível de ensino a que se reporta este trabalho de investigação. A Tabela 10 reúne essa informação.

Vários estudos salientam que os fenómenos óticos são uma fonte de confusão para os alunos, e suscitam conflitos mentais entre a experiência quotidiana destes fenómenos e a ótica aprendida na escola. Uma das explicações prende-se com o tipo de abordagem que os professores adotam nas aulas destinadas a esta temática: aulas com um formato demasiadamente formal, não permitindo aos alunos uma extrapolação dessas aprendizagens à realidade. Dito doutra forma, o ensino da ótica restringe-se aos aspetos geométricos [52], baseados no conceito de raio de luz, o que dificulta a compreensão de que a luz se propaga num espaço tridimensional. A análise geométrica, feita pelo aluno ou professor, faz-se geralmente num plano (quadro ou folha de papel), pelo que, muitas vezes, em nenhum momento a questão espacial é explicada.

Apesar do conceito de raio de luz se constituir como fundamental para explicar o processo de visão, o facto de todos os conceitos e procedimentos se basearem na representação geométrica da luz, não

1. Conseguimos ver um objeto porque a luz sai dos nossos olhos em direção a ele.
2. A visão não depende da existência de luz.
3. É possível ver a luz a propagar-se no espaço numa direção não incidente nos olhos do observador.
4. Os espelhos são as únicas superfícies que refletem a luz. Os outros objetos opacos não refletem a luz.
5. A luz não existe independentemente no espaço, isto é, ela “está” ou na fonte emissora ou no objeto iluminado, portanto não viaja (não é uma entidade dinâmica).
6. O alcance de uma fonte depende da sua intensidade luminosa. Assim, a luz propaga-se a uma certa distância e depois para. O alcance atingido depende da intensidade luminosa.
7. A luz não se propaga de um modo retilíneo.

Tabela 10: Concepções alternativas dos alunos sobre o processo de visão e as propriedades da propagação da luz

torna evidente a sua propagação em todas as direções do espaço e reforça de alguma forma a ideia de que é algo estático e abstrato.

O ensino desvinculado das informações apresentadas na Tabela 10 pode reforçar muitas das concepções anteriores e dificultar a correta aprendizagem dos modelos cientificamente corretos. A abordagem geométrica neste campo é, sem dúvida, imprescindível; contudo, o estudo da ótica pode tornar-se ineficaz se não se considerarem as concepções prévias dos alunos.

O módulo *Características e comportamento da luz* é o primeiro de quatro módulos referentes ao fenómeno da luz e visão. Contrariamente à abordagem classicamente presente nos manuais, onde os diversos conteúdos aparecem numa sequência estanque, como se não pertencessem a um mesmo fenómeno físico [80], estes módulos foram desenvolvidos para criar uma estrutura capaz de promover uma aprendizagem no domínio da ótica mais coerente e significativa, baseada na natureza da luz, sua interação com a matéria e ligação com o processo de visão.

Características e comportamento da luz constituiu-se como um módulo próprio, pela necessidade de promover uma abordagem pedagógica mais ampla ao fenómeno da luz, não restringida apenas a um conjunto de regras, como a medida de ângulos ou a memorização de leis, mas fazendo um apelo claro à natureza da luz, suas propriedades e caracte-

rísticas e ao processo de visão. O módulo foca-se essencialmente em dois tópicos:

- Processo de visão
- Propriedades da propagação da luz

A estrutura do módulo baseia-se no desenvolvimento dos seguintes objetivos:

- *Reconhecer a fonte luminosa, o objeto e o olho (detetor de luz) como três condições fundamentais para a existência de visão;*
- *distinguir corpos luminosos (corpos visíveis pela luz que emitem) de corpos iluminados (corpos visíveis pela luz que refletem);*
- *verificar que os espelhos não são os únicos objetos que refletem luz;*
- *saber que a luz que incide num objeto pode ser refletida e absorvida e/ou transmitida;*
- *distinguir corpos opacos, de corpos transparentes, de corpos parcialmente transparentes e de corpos translúcidos;*
- *identificar experimentalmente corpos opacos, transparentes, parcialmente transparentes e translúcidos;*
- *representar um feixe de luz como um conjunto de raios luminosos;*
- *representar a trajetória retilínea da luz através de setas (raios luminosos), com origem na fonte de luz e que indicam a sua direção e sentido;*
- *representar uma trajetória percorrida pela luz (através de raios luminosos) desde a fonte luminosa ao recetor (olho) num meio homogéneo;*
- *constatar que não é possível ver luz que se propaga no espaço numa direção não incidente no olho;*
- *saber que o alcance da luz emitida por uma fonte luminosa não depende da intensidade luminosa;*
- *identificar meios homogéneos como meios com propriedades semelhantes em todos os pontos;*
- *saber que a luz se propaga em linha reta em meios homogéneos e encurva em meios heterogéneos;*
- *identificar a forma das sombras como resultado da propagação retilínea da luz em meios homogéneos;*

- *identificar, numa reflexão, os raios incidente e refletido, a perpendicular ao ponto de incidência e os ângulos de incidência e de reflexão;*
- *aplicar as leis da reflexão em situações concretas;*
- *distinguir os conceitos de reflexão difusa/irregular e especular/regular;*
- *associar a reflexão especular ao tipo de reflexão ocorrida num espelho;*
- *explicar por que motivo nos conseguimos ver num espelho e não, por exemplo, numa folha de papel;*
- *saber que a velocidade da luz varia de meio para meio, sendo máxima no vácuo;*
- *distinguir ondas mecânicas de ondas eletromagnéticas;*
- *reconhecer que a luz não precisa de um meio material para se propagar;*
- *identificar a luz como uma onda eletromagnética;*
- *reconhecer que há radiação eletromagnética visível e invisível;*
- *relacionar, qualitativamente e quantitativamente, velocidade, frequência, período e comprimento de onda;*
- *identificar grandezas diretamente e inversamente proporcionais;*
- *identificar as diferentes gamas de radiações existentes no espectro e respetivas designações;*
- *relacionar qualitativamente as diferentes radiações em termos de comprimentos de onda e frequência;*
- *compreender que a luz recebida pela Terra não vem exclusivamente do Sol, mas também de outras estrelas, galáxias...;*
- *compreender que os corpos celestes luminosos (estrelas, galáxias, ...) podem emitir vários tipos de radiação, para além da radiação visível.*

A discussão apresentada anteriormente serviu de referência para a construção deste módulo. Com a sua implementação, espera-se que as conceções alternativas relativas ao processo de visão e propriedades da propagação da luz sejam ultrapassadas, num ambiente de aprendizagem bem coerente e fundamentado.

8.2 IMPLEMENTAÇÃO

8.2.1 Procedimento

O módulo *Características e comportamento da luz* foi construído para duas aulas de 90 min cada. Ambas as aulas tinham componente laboratorial.

Para questionar os modelos espontâneos dos alunos, nas aulas teóricas, foram desenvolvidas e discutidas algumas experiências que envolviam o professor e os alunos. Foram exploradas atividades com o objetivo de proporcionar aos estudantes oportunidades para confrontarem as suas ideias e expectativas com situações práticas, criando contextos mais favoráveis a uma aprendizagem significativa. Assim, todas as concepções empíricas dos alunos presentes na Tabela 10 foram analisadas e trabalhadas nas aulas teóricas e laboratoriais.

A primeira aula laboratorial é constituída por quatro estações experimentais, como podemos ver na Figura 5. Na estação experimental 1, os alunos, após a leitura de um pequeno texto que deu nome à ficha laboratorial: “Tenho uma pequena sombra que entra e sai comigo...”, exploraram sombras, relacionando o tamanho destas com a posição do objeto relativamente à fonte de luz. Traçaram também um esboço da sombra formada numa situação concreta, identificando as zonas de umbra e penumbra.

O material relativo a este módulo encontra-se no CD que acompanha a tese.

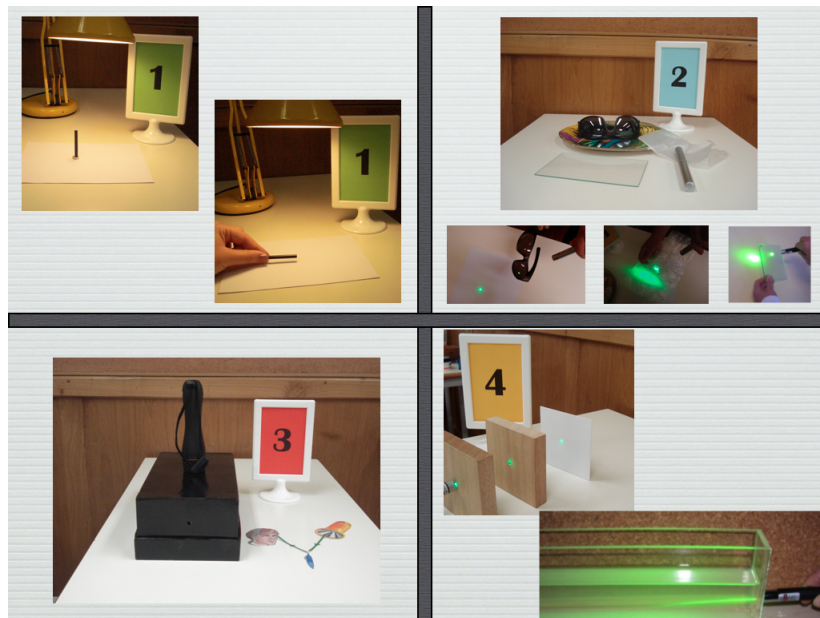


Figura 5: AL: “Tenho uma pequena sombra que entra e sai comigo...”

Na estação experimental 2, os alunos manipularam vários objetos e procederam à sua classificação em transparentes, translúcidos, opacos e parcialmente transparentes, com a ajuda de um laser e de um alvo.

Na estação experimental 3 os alunos eram convidados a fazer uma experiência, já explorada na aula teórica, com o fito de reconhecerem que a fonte luminosa, o objeto e o olho (recetor) são três condições fundamentais para a existência de visão.

Na estação experimental 4, através de uma experiência simples – dois blocos de madeira com um orifício central e um laser –, os alunos verificavam a propagação retilínea da luz em meios homogêneos. Posteriormente, através de uma experiência clássica constituída por uma tina com água e açúcar (meio heterogêneo), verificavam que a luz encurvava.

A segunda aula laboratorial deste módulo tem apenas duas estações experimentais, com uma duração de 15 min cada (o que implica a duplicação do material de cada estação). Na estação experimental 1, os alunos exploravam a reflexão especular e difusa com papel de alumínio liso/amachucado e um laser. Na estação experimental 2, verificavam as leis da reflexão, medindo ângulos de incidência e de reflexão.



Figura 6: AL: “Os espelhos são os únicos objetos que refletem luz?”

8.2.2 Participantes

Neste módulo participaram 198 alunos do grupo de controlo e 174 do grupo experimental (Tabela 11). A escola JML teve simultaneamente

	Escolas						
	IND	JML	S	FV	SCD	AH	Total
Grupo experimental	68	106					174
Grupo de controlo		33	42	48	54	21	198

Tabela 11: Número de alunos participantes no módulo *Características e comportamento da luz*

alunos do grupo de controlo e do grupo experimental. Participaram na aplicação deste módulo 7 professores.

8.3 AVALIAÇÃO

8.3.1 Pré/pós-teste

O instrumento que serviu para avaliar o módulo foi construído tendo por base questões clássicas de outros estudos com algumas adaptações em alguns casos [80, 81]. Em praticamente todas as questões, as opções alternativas à resposta correta serviam como marcadores das concepções alternativas.

Ver Anexo A (pg. 206).

Dois professores de Física e Química do ensino básico/secundário e um professor do ensino superior procederam à validade de conteúdo. Foram igualmente consultados outros professores do ensino básico/secundário no sentido de averiguar se as questões iam de encontro às orientações curriculares [31]. Na Tabela 12 encontra-se explicitamente a relação de cada resposta com as CA's.

Concepções alternativas	Questões
Conseguimos ver um objeto porque a luz sai dos nossos olhos em direção a ele.	Q1a) Q1c)
É possível ver a luz a propagar-se no espaço numa direção não incidente no olho do observador.	Q5a)
A luz não existe independentemente no espaço, isto é, ela “está” ou na fonte emissora ou no objeto iluminado, portanto não viaja.	Q2.3a) Q5d)
O alcance de uma fonte depende da sua intensidade luminosa.	Q2.1a) Q2.1b) Q2.1d) Q2.2a) Q2.2b) Q2.2d) Q2.3c) Q2.3d)
A luz não se propaga de um modo retilíneo	Q3b) Q3c) Q3d) Q4.2a) Q4.2b) Q4.2c)

Tabela 12: Identificação das concepções alternativas, nas diferentes questões, no módulo *Caraterísticas e comportamento da luz*

As questões 1 e 5 estavam relacionadas com o processo de visão enquanto que as questões 2,3 e 4 se encontram relacionadas com as propriedades da propagação da luz. A questão 1 funcionou como questão de controlo, uma vez que se encontra presente na maioria dos manuais escolares.

8.3.2 Resultados

Professores

Este módulo foi o primeiro a ser implementado. Os professores consideraram as estações experimentais simples e bem conseguidas. A ideia dos alunos explorarem por eles próprios as características das sombras foi mencionada como enriquecedora e as restantes experiências foram consideradas como tendo um grau de dificuldade adequado ao nível dos alunos. A principal dificuldade da aula laboratorial foi a introdução do próprio modelo das estações experimentais. Os alunos, não estando habituados a este modelo, perderam-se um pouco no tempo. A falta de ritmo de trabalho e alguma “entropia” dentro dos grupos levou ao alargamento do tempo inicialmente previsto.

Das atividades propostas nas estações experimentais, os professores referiram que apenas realizavam em anos anteriores experiências relacionadas com as leis da reflexão (quase sempre como atividades demonstrativas).

As conceções alternativas presentes na Tabela 10 eram, maioritariamente, do conhecimento dos professores. Contudo, durante a formação, ficou visível que a conduta pedagógica que cada um dos professores seguia ia quase exclusivamente de encontro às atividades propostas pelos manuais, onde este tipo de preocupação não está explícito.

Alunos

A Tabela 13 apresenta os principais resultados estatísticos relativamente à avaliação deste módulo. Na Tabela 14, encontram-se os resultados dos dois grupos. As opções corretas para cada questão encontram-se a negrito.

- Na questão 1 (Q1), a maioria dos alunos de ambos os grupos escolheu no pré-teste a opção correta. Contudo, 29.3% dos alunos do grupo de controlo e 18.0% do grupo experimental apresentavam a conceção alternativa de que a luz sai dos nossos olhos. Por outro lado, uma percentagem significativa (33.8% no grupo de controlo

	Pré-teste			Pós-teste			Diferença
	M ¹	DP ²	p-value ³	M ¹	DP ²	p-value ³	p-value ⁴
Grupo experimental	1.87	1.297	0.010*	3.70	1.781	0.000*	0.000*
Grupo de controlo	1.53	1.088		2.44	1.260		0.000*

(1) Média (2) Desvio Padrão (3) Teste de Mann-Whitney U (4) Teste de Wilcoxon

* Diferenças estatisticamente significativas para um nível de significância de 0.05

Tabela 13: Resultados estatísticos relativos ao módulo *Caraterísticas e comportamento da luz*

e 39.0% no grupo experimental) escolheu a opção **d)**, considerando que a visão não requer interação da luz com o observador (recetor). No pós-teste, as conceções alternativas anteriores parecem ter sido abandonadas, dada a elevada percentagem de alunos que escolheu a opção correta. Os alunos do grupo experimental registaram melhores resultados uma vez que 90.2% escolheu a opção correta, enquanto que no grupo de controlo esse valor foi mais reduzido (79.2%).

- As questões 2.1 (Q2.1), 2.2 (Q2.2) e 2.3 (Q2.3) estavam relacionadas, pelo que se esperaria que as respostas de cada aluno fossem coerentes entre si.
 - No pré-teste, os resultados mostram inequivocamente que a grande maioria dos alunos possui a ideia errada de que o alcance de uma fonte luminosa depende da sua intensidade. Veja-se, por exemplo, a percentagem de alunos com esta conceção na questão 2.1 (71.2% no grupo de controlo e 60.7% no grupo experimental) e 2.2 (93.9% no grupo de controlo e 92.3% no grupo experimental). Este resultado era esperado uma vez que, tendo os alunos esta conceção, usando uma vela em vez de uma lanterna, o alcance da luz, neste último caso, deveria ser menor. Estes resultados mostram que, na realidade, a percentagem de alunos com esta conceção é mais próxima da constatada pela questão 2.2 do que pela questão 2.1.
 - A resposta à questão 2.3 era indicadora de uma segunda conceção: a de que a luz se encontra na fonte luminosa e não viaja. Os resultados do pré-teste mostram que esta é uma ideia partilhada pela larga maioria dos alunos (64.6% no grupo de controlo e 61.5% no grupo experimental). As restantes opções incorretas relacionam-se com a conceção

		Pré-teste		Pós-teste	
		Controlo	Experimental	Controlo	Experimental
Questão 1	a)	23.2	18.0	11.7	5.7
	b)	36.9	43.0	79.2	90.2
	c)	6.1	0.0	0.5	0.0
	d)	33.8	39.0	8.6	4.0
Respostas válidas*		198	172	197	174
Questão 2.1	a)	7.6	5.8	7.6	0.6
	b)	13.1	8.7	13.1	5.8
	c)	28.8	39.3	49.5	73.3
	d)	50.5	46.2	29.8	20.3
Respostas válidas*		198	173	198	172
Questão 2.2	a)	50.0	57.6	46.9	47.7
	b)	12.1	9.4	12.9	9.2
	c)	6.1	7.6	11.9	29.9
	d)	31.8	25.3	28.4	13.2
Respostas válidas*		198	170	194	174
Questão 2.3	a)	64.6	61.5	59.5	44.3
	b)	2.0	5.2	6.2	28.7
	c)	28.3	30.5	28.2	25.3
	d)	5.1	2.9	6.2	1.7
Respostas válidas*		198	174	195	174
Questão 3	a)	20.4	32.2	35.4	54.0
	b)	20.9	22.2	21.7	13.8
	c)	32.7	23.4	17.2	18.4
	d)	26.0	22.2	25.8	13.8
Respostas válidas*		196	171	198	174
Questão 4.1	a)	20.4	26.2	25.0	37.0
	b)	32.7	38.4	34.7	30.6
	c)	42.3	33.7	35.7	31.8
	d)	4.6	1.7	4.6	0.6
Respostas válidas*		196	172	196	173
Questão 4.2	a)	71.6	81.4	77.8	75.9
	b)	5.1	5.2	3.5	1.7
	c)	13.7	5.2	10.1	6.3
	d)	9.6	8.1	8.6	16.1
Respostas válidas*		197	172	198	174
Questão 5	a)	52.6	65.5	56.1	55.5
	b)	10.7	4.1	9.1	1.7
	c)	29.6	28.1	29.3	41.6
	d)	7.1	2.3	5.6	1.2
Respostas válidas*		196	171	198	173

* As percentagens apresentadas foram calculadas considerando apenas as respostas válidas.

Tabela 14: Frequências de respostas dos pré/pós-testes, por questão, em %, no módulo *Caraterísticas e comportamento da luz*

analisada nas duas questões anteriores (2.1 e 2.2) e registam, no pré-teste, percentagens significativas (33.4% no grupo de controlo e no grupo experimental).

- No pós-teste, os resultados do grupo experimental foram melhores do que no grupo de controlo. Tal como no pré-teste, a percentagem de alunos a escolher a opção correta foi diminuindo da questão 2.1 à 2.3, o que significa que na prática, o facto de responderem corretamente à questão 2.1 não significa que tenham apreendido um modelo consistente sobre a propagação da luz.
- A questão 3 (Q3) encontra-se apenas relacionada com a propagação retilínea da luz, pelo que todas as opções escolhidas, à exceção da correta, evidenciam que os alunos não sabem que a luz viaja em linha reta. No pré-teste, apenas 20.4% dos alunos do grupo de controlo, e 32.2 % dos alunos do grupo experimental, apresentam a visão correta. No pós-teste, os resultados melhoram em ambos os grupos apesar do grupo experimental ter conseguido melhores resultados (35.4% no grupo de controlo e 54.0% no grupo experimental).
- A questão 4.1 (Q4.1) e 4.2 (Q4.2) são complementares da questão 3. A questão 4.1 para além de testar a propagação retilínea da luz, envolve a formação de sombras. Isto explica o facto dos resultados terem sido melhores na questão 3.
 - Na questão 4.1, no pré-teste, apenas 20.4% dos alunos do grupo de controlo, e 26.2% do grupo experimental selecionaram a opção correta. No pós-teste, mais alunos responderam corretamente: 25.0% para o grupo de controlo e 37.0% para o grupo experimental.
 - Na questão 4.2, os alunos do grupo de controlo pioraram do pré para o pós-teste (9.6% para 8.6%) e os alunos do grupo experimental melhoraram (8.1% para 16.1%). Os resultados no pós-teste não estão de acordo com o que seria expectável, tendo em consideração os da questão 3. Aponta-se como explicação o facto da questão 4.2 ser mais complexa, dado envolver igualmente o conceito de sombras.
- A questão 5 (Q5) relaciona-se com o facto dos alunos, apesar de conhecerem o processo de visão (muitas vezes designado triângulo de visão), nem sempre conseguirem aplicar esses conhecimentos em termos práticos. A opção maioritariamente escolhida em

ambos os grupos no pré e pós-teste revela que os alunos permanecem com a ideia de que é possível ver a luz a propagar-se no espaço numa direção não incidente nos olhos do observador. Uma percentagem de alunos residual admite que a luz não viaja num ambiente com pouca luminosidade. Ainda assim, os alunos do grupo experimental melhoraram o seu resultado do pré para o pós-teste (de 28.1% para 41.6%). Já o grupo de controlo não mostrou qualquer alteração com significado.

A média dos pré-testes (Figura 7) foi de 1.53 ($DP = 1.088$) no grupo de controlo e 1.87 ($DP = 1.297$) no grupo experimental. Aplicando o teste de *Mann-Whitney U*, foi testada a hipótese nula obtendo-se um $p\text{-value} = 0.010$, o que indica que as amostras não podem ser consideradas equivalentes. Quanto ao pós-teste, os valores sobem para 2.44 ($DP = 1.260$) no grupo de controlo e 3.70 ($DP = 1.781$) no grupo experimental. Apesar das subidas terem sido significativas em ambos os grupos (aplicando o teste de *Wilcoxon*, ambos os grupos apresentam um $p\text{-value} = 0.000$), os resultados do grupo experimental são significativamente superiores aos do grupo de controlo ($p\text{-value} = 0.000$, aplicando o teste de *Mann-Whitney U*).

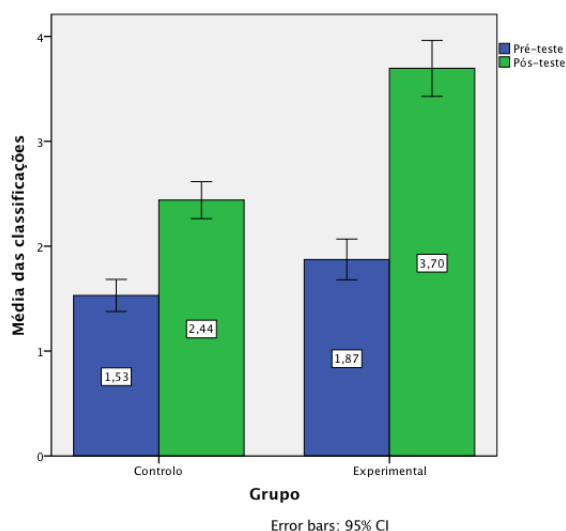


Figura 7: Média das classificações, em ambos os grupos, antes e após a instrução do módulo *Caraterísticas e comportamento da luz*

O ganho normalizado do grupo experimental foi de 29.9% enquanto que o do grupo de controlo foi de 14.1%. O questionário tinha, na sua totalidade, 8 questões o que significa que só teve positiva no teste alunos com, pelo menos quatro questões certas. A percentagem de positivas, no pré-teste, foi de 4.0% no grupo de controlo e 9.8% no

grupo experimental. No pós-teste, a percentagem foi de 20.2% para o grupo de controlo e de 48.3% para o grupo experimental.

Na Tabela 15 encontra-se o ganho normalizado de cada uma das questões em ambos os grupos.

	Questões							
	Q1	Q2.1	Q2.2	Q2.3	Q3	Q4.1	Q4.2	Q5
Grupo experimental	82.5	54.1	24.7	25.3	32.4	14.9	8.7	18.1
Grupo de controlo	66.7	28.2	6.4	4.1	18.8	6.3	-1.1	0.0

Tabela 15: Ganho normalizado, por questão, no módulo *Caraterísticas e comportamento da luz*

Em todas as questões o grupo experimental teve uma melhor *performance* do que o grupo de controlo. Para além disso, enquanto que o grupo de controlo piorou nas questões 4.2 e 5, o grupo experimental melhorou os seus resultados em todas as questões. Aplicando o teste de *Wilcoxon*, no grupo de experimental, todas as subidas do pré para o pós-teste registadas na opção correta foram significativas, enquanto que no grupo de controlo, apenas Q1, Q2.1, Q2.3 e Q3 registaram uma melhoria significativa.

No grupo experimental, 77.0% dos alunos melhoraram a sua performance no teste e 8.0% pioraram. Relativamente ao grupo de controlo, 58.1% melhoraram e 18.2% pioraram, como podemos confirmar na Figura 8.

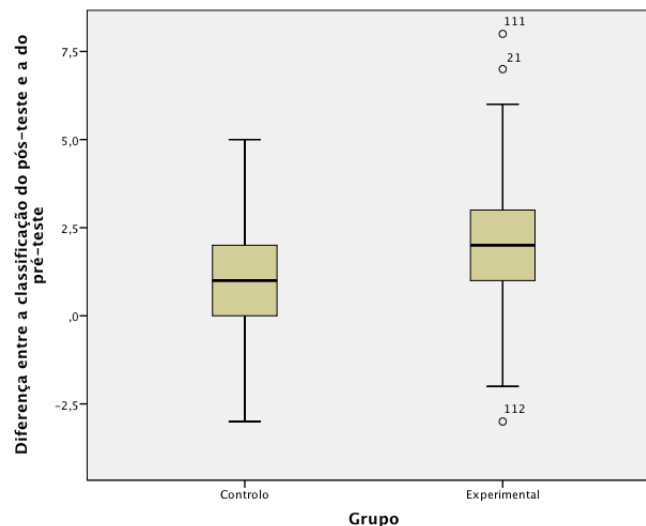


Figura 8: Diferença entre o pós e o pré-teste (por aluno) no módulo *Caraterísticas e comportamento da luz*

Relativamente às conceções alternativas apresentadas na Tabela 10, verificou-se que houve uma progressão positiva após a instrução formal, sendo esta mais sólida no grupo experimental. Contudo, os resultados mostram que a ideia de que o alcance de uma fonte luminosa depende da sua intensidade permanece após a aprendizagem formal. No pré-teste, verificou-se que a percentagem de alunos que errou simultaneamente as questões 2.1, 2.2 e 2.3¹ foi 22.2% no grupo de controlo e 23.6% no grupo experimental. Já no pós-teste, no grupo de controlo, 14.1% dos alunos mantêm esta ideia, um valor próximo do grupo experimental: 12.1%.

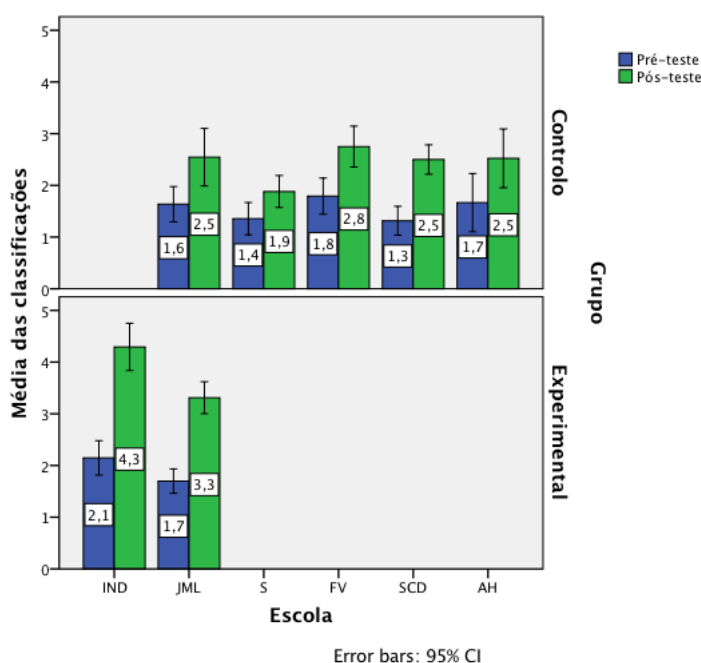


Figura 9: Resultados das escolas no módulo *Caraterísticas e comportamento da luz*

No gráfico da Figura 9, é possível analisar os resultados por escola. As duas escolas do grupo experimental registaram melhorias significativas. Já no grupo de controlo, a escola AH não registou melhorias significativas, ao contrário das restantes. A Escola JML teve alunos nos dois grupos. Repare-se como a média dos pré-testes é muito próxima (1.6 e 1.7). Já o desempenho no pós-teste é superior no grupo experimental.

¹ Na questão 2.3, foram considerados os alunos que tenham respondido as opções b) ou c).

8.4 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Nas últimas décadas, os diversos trabalhos de investigação na área da ótica deram conta de algumas concepções que compõem os modelos de pensamento espontâneo, e apresentaram indícios das consequências de uma instrução que não tem em conta as ideias prévias e que se focaliza apenas em aspetos geométricos.

Os resultados dos pré-testes de ambos os grupos foram muito semelhantes aos reportados por estudos anteriores. Assim, a visão quotidiana, a principal fonte de informação sobre os fenómenos óticos, proporciona ideias erradas e leva a representações consistentes muitas vezes difíceis de alterar, mesmo depois da apresentação de um modelo teórico fundamentado.

Das concepções alternativas analisadas neste módulo, a que pareceu mais resistente, mesmo para alunos do grupo experimental foi a de que a luz “enfraquece” com a distância. Uma explicação possível é a seguinte. É indiscutível a redução do fluxo luminoso com a distância a uma fonte; a partir de uma certa distância, o fluxo passa abaixo do limiar de perceção e a fonte deixa de ser visível. Esta constatação faz claramente parte do modelo mental dos alunos. Num modelo mental dominado pelo conceito de raio, isto só pode ser interpretado como querendo dizer que o raio de luz é finito. Ou seja, a compreensão correta deste conceito exige a consideração da propagação da luz no espaço e da redução da intensidade com a distância, devido ao espalhamento de luz numa área cada vez maior (somado ao processos de difusão e absorção). Assim, provavelmente, estes conceitos não foram suficientemente explorados para poder integrar o conceito de que a luz se propaga até que seja deflectida ou absorvida, sem limite de distância de propagação, com a observação do alcance finito do poder de iluminação de uma fonte.

Os resultados mostram que os alunos envolvidos neste programa (174 alunos) tiveram uma melhor *performance*, num teste aplicado para o efeito, relativamente a um grupo de controlo (198 alunos). Em todas as questões, os alunos do grupo experimental estiveram melhores, tendo-se verificado um ganho normalizado de 29.9% no grupo experimental e 14.1% no grupo de controlo.

Este módulo foi o primeiro a ser implementado no 8.º ano. Nesse sentido, os professores sentiram alguma dificuldade na sua aplicação, sobretudo no que respeita à implementação do modelo das estações experimentais. De acordo com os professores, a otimização do tempo de aula (teórica e laboratorial) foi aperfeiçoada ao longo dos módulos, pelo que os professores desvalorizaram as dificuldades iniciais sentidas apenas neste módulo.

ESPELHOS PLANOS

9.1 PREPARAÇÃO

9.1.1 Introdução

Estudos internacionais [82, 83, 84, 85, 86] apontam dificuldades específicas dos alunos no domínio da formação de imagens em espelhos planos. Estas dificuldades prendem-se com o facto dos alunos trazerem para a sala de aula ideias que foram adquirindo sozinhos na sua experiência diária com este tipo de espelhos. As conceções alternativas presentes na Tabela 16 condicionam a forma como os alunos aprendem e, apesar de algumas se tornarem patentes no decurso da prática letiva, os professores nem sempre tomam consciência das mesmas, e, em geral, não as consideram nas suas estratégias de ensino.

1. A imagem forma-se na superfície de um espelho, isto é na frente dele.
2. A imagem num espelho plano é formada à frente do espelho segundo uma linha que une o observador e o objeto.
3. Um objeto colocado fora dos limites do espelho não forma imagem.
4. A posição de um objeto relativamente ao espelho não é importante no sentido de saber onde a imagem é formada e, consequentemente, se vai ou não ser vista.
5. A fração da imagem visível do nosso corpo num espelho plano de tamanho reduzido aumenta com a distância a este.
6. À medida que um objeto se afasta de um espelho, a sua imagem diminui de tamanho.
7. Num espelho plano, a imagem mostra-se com inversão esquerda/direita relativamente ao objeto.

Tabela 16: Conceções alternativas dos alunos sobre espelhos planos

O conceito de formação de imagem por um dispositivo ótico é de uma sutileza a que a maior parte dos manuais não faz justiça, reduzindo a discussão à determinação da intersecção de dois raios. Por exemplo, as condições necessárias para que um observador veja uma imagem raramente são discutidas. Para estudantes do básico, a ligação entre essa representação simbólica da formação de imagem e a sua experiência é demasiado remota para poder ser efetiva na construção de um modelo mental eficaz na compreensão de características qualitativas e universais da formação de imagens.

A preparação deste módulo, e posterior discussão com os professores, centrou-se no esclarecimento de certas relações universais entre as características qualitativas e posição de imagens e suas relações com o espelho, objeto e observador. Um dispositivo central desta estratégia foi o espelho semitransparente¹ que permite um conjunto de observações e manipulações.

9.1.2 Espelho semitransparente

a) Onde se forma a imagem num espelho plano?

Para muitos alunos, a imagem forma-se na superfície de um espelho, isto é, na frente dele. Apesar das várias estratégias utilizadas pelos professores para esclarecer este equívoco [87], estudos revelam que esta ideia permanece, mesmo após os alunos terem abordado este tópico nas aulas.

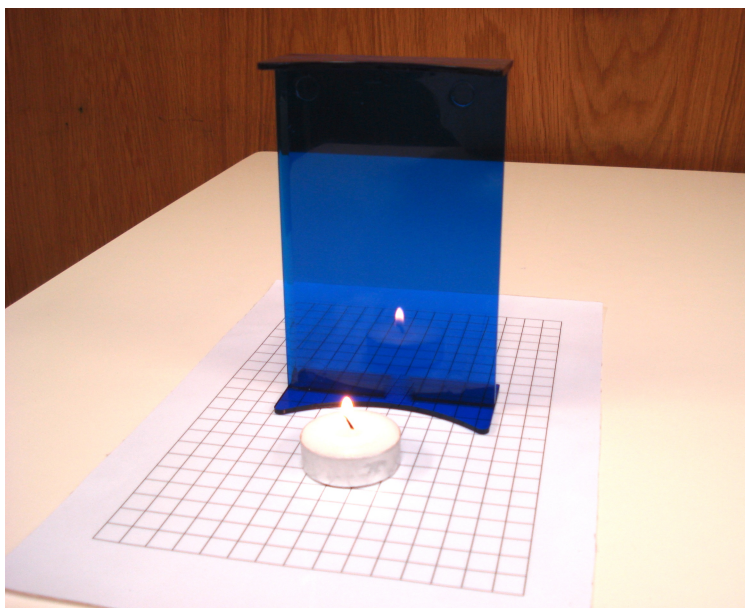
O espelho semitransparente permite sobrepor visualmente objetos reais a imagens virtuais observadas *através* do espelho. Para alunos do 3.º ciclo, sugere-se a utilização de um espelho semitransparente colocado em cima de uma grelha feita em papel (Figura 10). Com este dispositivo, o estudante pode ver, simultaneamente, o objeto e a respetiva imagem, e verificar diretamente por observação que a imagem é...

- formada atrás do espelho, à mesma distância do espelho que o objeto;
- do mesmo tamanho do objeto.

Com o espelho semitransparente, os alunos podem “tocar” na imagem de um objeto. Quando tentarem sobrepor o dedo (que veem através do espelho) à imagem de um objeto, por exemplo uma vela, verificam que esta não está na superfície do espelho. Por outro lado, o conceito de

¹ Este espelho é designado, originalmente, por *reflect-view* e é feito de plexiglas (acrílico). Em Portugal, é vulgarmente designado de espelho refletor (nome comercial).

imagem é reforçado pelo facto da vela atrás do espelho não queimar o dedo!



Se um aluno colocar uma vela à frente do espelho semitransparente pode "tocar" diretamente na imagem e não se queima!

Figura 10: Com um espelho semitransparente, vê-se a imagem formada atrás do espelho, à mesma distância que o objeto se encontra do espelho

A utilidade deste espelho estende-se à sua capacidade em demonstrar que a posição da imagem num espelho plano depende exclusivamente da posição do objeto relativamente ao espelho e não da posição do observador. Existem algumas estratégias possíveis para reforçar esta observação:

- A) dispondo de dois objetos idênticos (no nosso caso uma vela), o estudante sobrepõe um à imagem do outro; deslocando o seu ponto de observação a imagem e objeto mantêm-se sobrepostos. Isto é, uma imagem, tal como um objeto, não muda de posição num referencial fixo quando o observador se desloca.
- B) com recurso à grelha de papel acima referida, um estudante marca a posição de uma imagem; um segundo estudante, com outro ponto de observação, faz o mesmo. As duas marcas coincidem.

Esta exploração esclarece que a posição da imagem só depende da posição do objeto em relação ao espelho, e também alerta que esta nem sempre é formada ao longo da linha que une o observador ao objeto (este caso só acontece quando o observador está de frente para o espelho).

b) Um objeto fora dos limites do espelho formará imagem?

Quando nos deslocamos para fora dos limites de um espelho deixamos de ver a nossa imagem. Não surpreende que possa surgir uma concepção de que a imagem já não se forma. É comum entre os alunos a ideia de que para um observador ver a imagem de um objeto, este tem que estar dentro dos limites do espelho. Mais uma vez estamos perante a dificuldade, raramente discutida, das condições que permitem a um observador *ver* a imagem formada por um dispositivo ótico.

Esta questão foi explicitamente discutida na formação de professores, e relacionada com a representação de raios e leis da reflexão, com inclusão do observador na construção. Neste contexto é fundamental a representação dos raios incidentes e refletidos nas extremidades do espelho. A Figura 11 ilustra uma questão que coloca em jogo este conceito.

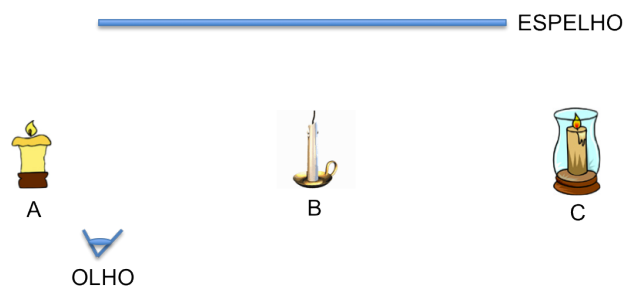


Figura 11: O João consegue ver a imagem de todas as velas?

Na aula, com um espelho e alguns objetos posicionados em diferentes lugares, os alunos podem facilmente fazer previsões com base nos conhecimentos teóricos apresentados anteriormente e confrontá-las com a experiência.

c) O espelho produz uma inversão esquerda/direita?

Apesar da inversão ocorrida nos espelhos planos já ter sido esclarecida há muito na comunidade académica [82, 83, 84, 85], é difícil encontrar um cidadão comum que não acredite veementemente que se trata de uma inversão esquerda/direita. Infelizmente, este erro é raramente discutido em contexto sala de aula. Igualmente rara é a exploração da real inversão que um espelho plano promove: uma inversão na direção normal à sua superfície.

Há várias sugestões de demonstrações onde se pode verificar que um espelho inverte a ordem dos objetos numa direção perpendicular à sua superfície ($x, y, z \rightarrow x, y, -z$). Uma possibilidade é pedir ao aluno para desenhar numa folha de acetato uma palavra e colocá-la à frente do espelho com as letras viradas para si [83]. O aluno conclui rapidamente

que o espelho não promoveu uma inversão esquerda/direita porque ele próprio não virou as letras para o espelho (rotação de 180°).

No nosso dia-a-dia é comum rodar os objetos para a superfície do espelho para vermos a sua imagem, tal como quando nos queremos ver ao espelho, um hábito quotidiano que acaba por condicionar a nossa percepção do fenómeno [82, 88, 89]. O exemplo mais comum é o da palavra escrita em papel opaco; para ver a reflexão de uma página impressa, temos de a virar de frente para o espelho. Neste caso, a inversão frente/trás do espelho deixa a imagem de qualquer letra sobreponível com ela própria. A imagem parece ter tido uma inversão esquerda/direita por causa da rotação anterior [90].

O espelho semitransparente revela-se bastante prático para estudar a questão da simetria em espelhos planos. Sugere-se que o aluno coloque uma folha de papel branco por baixo do espelho refletor e escreva uma palavra. Posteriormente, o aluno volta a escrever a mesma palavra sobreposta à imagem, tal como se encontra ilustrado na Figura 12. Após os alunos removerem o espelho, a correta simetria é observada!

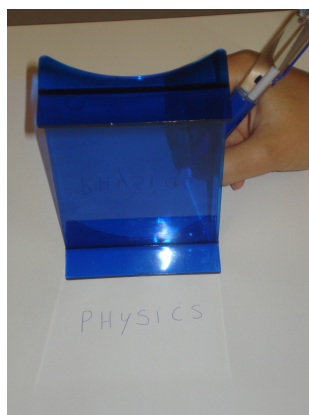


Figura 12: A imagem da palavra *Physics* não sofreu uma inversão esquerda/direita mas frente/trás

d) Quando nos afastamos de um espelho plano conseguimos ver mais do nosso próprio corpo?

Os alunos referem, frequentemente, que a fração do corpo visível num espelho plano aumenta à medida que se afastam dele e que o tamanho da sua própria imagem vai diminuindo.

A Figura 13 mostra um diagrama de raios capaz de demonstrar o que podemos ver de nós próprios quando nos colocamos à frente de um espelho plano em duas situações: uma situação mais próxima do espelho - (Situação I) e outra mais afastada (Situação II). Para ambas as situações são representados os raios extremos refletidos nos limites do espelho e incidentes na região dos olhos. Verifica-se que as ordenadas

À medida que nos afastamos de um espelho, o nosso tamanho angular diminui, mas o do espelho também diminui.

dos pontos cujos raios são extremos nas duas situações são semelhantes, o que significa que à medida que nos afastamos de um espelho de reduzidas dimensões, não conseguimos ver mais do nosso próprio corpo. Só um espelho maior poderia fazer com que a parte do corpo visível fosse maior.

Pela observação das construções geométricas apresentadas, verifica-se ainda que o tamanho (altura e largura) visível para o observador (simultaneamente objeto) é o dobro do tamanho do espelho ($2.84 - 0.84 = 2 \times (2.00 - 1.00)$). Assim, para que um aluno consiga ver todo o seu corpo, de uma só vez, terá de dispor de um espelho com metade da sua altura e largura.

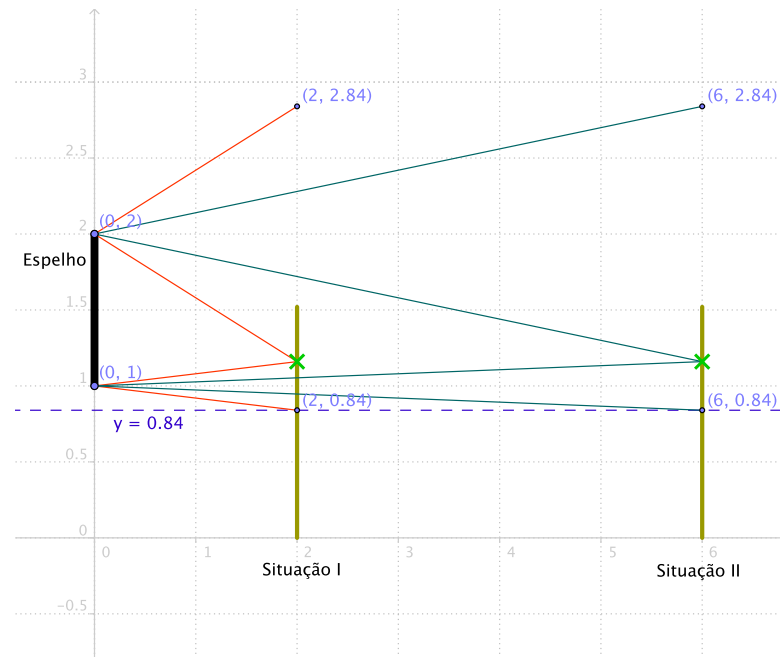


Figura 13: Não conseguimos ver mais do nosso corpo à medida que nos afastamos de um espelho plano de reduzida dimensão

Mas então, por que motivo temos, todos, a sensação de que vemos mais do nosso próprio corpo se nos afastarmos? Uma possível explica-

ção tem a ver com a relação entre as dimensões habituais dos espelhos e do nosso ângulo de visão. Tipicamente, a área que abrangemos quando estamos próximos de um espelho, devido ao nosso ângulo limitado de visão, é menor que a área do espelho; afastando-nos, o tamanho *angular* do espelho diminui e começamos a poder ver imagens que não víamos, não porque o espelho não as mostrasse, mas porque o nosso ângulo de visão era limitado. Isso pode criar a noção que o espelho mostra uma área maior se estivermos mais longe dele. Uma observação cuidadosa e orientada com um espelho de dimensões reduzidas é crucial para abordar esta situação.

A ideia de que o tamanho da imagem se altera se o observador se afastar do espelho pode ser confrontada com o espelho semitransparente, através de uma experiência simples. Um aluno coloca uma folha de papel por baixo do espelho (Figura 12) e escreve a mesma palavra, com letra do mesmo tamanho, a diferentes distâncias do espelho. Sugere-se que outros alunos, com uma caneta, escrevam a palavra por cima das várias imagens. Ao retirarem o espelho, torna-se claro que o tamanho das letras é exatamente o mesmo.

Estas questões foram amplamente discutidas com os professores e conduziram à elaboração de um módulo que pretendia associar um conhecimento empírico de características qualitativas universais da formação de imagens em espelhos planos com as noções mais elementares de reflexão especular e de diagramas de traçado de raios. Foram delineados os seguintes objetivos:

- *Associar a reflexão especular ao tipo de reflexão ocorrida num espelho;*
- *construir geometricamente a imagem de um objeto num espelho plano;*
- *distinguir imagem direita de imagem invertida;*
- *distinguir imagem real de imagem virtual;*
- *identificar as características das imagens obtidas num espelho plano;*
- *identificar o tipo de simetria existente entre objetos e respetivas imagens em espelhos planos;*
- *compreender que o tamanho da imagem não depende da distância do objeto ao espelho;*
- *compreender que o tamanho da imagem não depende da distância do observador ao espelho;*
- *compreender as relações entre as posições dos objetos, dos espelhos e das imagens;*
- *compreender as condições necessárias para que um observador possa ver uma dada imagem;*

- *verificar que quando um observador se olha a um espelho de pequena dimensão e vê apenas uma fração do seu rosto, não passa a ver mais do seu próprio corpo se se afastar do espelho;*
- *prever, para situações concretas, se a imagem de um objeto num espelho plano é, ou não, visível para um observador numa determinada posição;*
- *reconhecer a existência de vários tipos de espelhos, nomeadamente planos e curvos (côncavos e convexos);*
- *constatar que diferentes tipos de espelhos formam diferentes tipos de imagens.*

Com a implementação do módulo, pretendeu-se saber de que forma as conceções alternativas relativas à construção de imagens em espelhos planos se alteram, como resultado de uma ensino baseado nas questões centrais apresentadas anteriormente.

9.2 IMPLEMENTAÇÃO

9.2.1 Procedimento

O material relativo a este módulo encontra-se no CD que acompanha a tese.

O módulo *Espelhos planos* foi construído para duas aulas de 90 min cada. A planificação da aula teórica, precedida da aula laboratorial, teve em consideração as ideias da Tabela 16 e apostou, numa fase inicial, na observação das características das imagens nos espelhos planos, com o espelho semitransparente.

Após a fase de observação, a sugestão foi a dos alunos aprenderem a construir geometricamente a imagem de um objeto, acompanhada com a explicação do tipo de simetria ocorrida nestes espelhos e do carácter virtual da imagem. Após o professor explicar o motivo pelo qual a fração visível do nosso corpo não aumenta com a distância a um espelho de tamanho reduzido, os alunos aprenderam a prever, para situações concretas, se a imagem de um objeto num espelho plano é, ou não, visível para um observador numa determinada posição.

A atividade laboratorial, “*Espelho meu... haverá alguém mais bonito do que eu?*”, com duração de 60 min, foi dividida em 2 estações experimentais (Fig. 14), cada uma com duração de 30 min. Os alunos, divididos em grupos, responderam às questões da ficha laboratorial e, simultaneamente, realizaram as experiências planeadas em cada estação experimental.

Os materiais usados, organizados em *kits*, são do dia-a-dia, simples e de baixo custo, como podemos observar na Figura 14. Na estação



Figura 14: AL: “Espelho meu... haverá alguém mais bonito do que eu?”

experimental 1, os alunos puderam consolidar a aula teórica com tarefas relacionadas com experiências simples, focadas na formação de imagens em espelhos planos [85]. Na estação experimental 2, os alunos exploraram espelhos curvos (côncavos e convexos) numa perspetiva qualitativa. O principal objetivo concentrou-se no estudo e escolha de cada um dos espelhos curvos apresentados, para construir um espelho de maquilhagem, um espelho para roupeiro e um espelho retrovisor. No final desta aula, os alunos fizeram um miniteste (10 min) que, juntamente com a ficha laboratorial, foi avaliado.

9.2.2 Participantes

Participaram neste estudo 151 alunos do grupo experimental e 162 alunos do grupo de controlo, tal como podemos verificar na Tabela 17. No grupo experimental participaram seis professores.

	Escolas						Total
	IND	JML	S	FV	SCD	AH	
Grupo experimental	46	105					151
Grupo de controlo			41	46	54	21	162

Tabela 17: Número de alunos participantes no módulo *Espelhos planos*

9.3 AVALIAÇÃO

9.3.1 Pré/pós-teste

Ver Anexo A (pg. 209).

Neste módulo, o instrumento de escolha múltipla construído para medir o conhecimento científico dos alunos antes e após a instrução baseou-se em questões propostas por McDermott e Goldberg [85]. Considerou-se pertinente incluir neste teste uma questão academicamente conhecida, presente nos manuais escolares, que serviu de controlo (questão 5).

A validade de conteúdo deste instrumento foi assegurada pela revisão de dois professores de Física e Química do ensino básico/secundário e um do ensino superior. As opções alternativas à resposta correta em todas as questões foram cuidadosamente escolhidas, de forma a refletirem as conceções alternativas detetadas em estudos anteriores. Professores do ensino básico/secundário foram consultados no sentido de saber se estas questões eram adequadas ao nível de ensino. A opinião dos professores foi unânime em considerar que as questões 1 e 4 não eram discutidas em sala de aula, pelo que dificilmente os alunos do grupo de controlo teriam melhorias significativas.

9.3.2 Resultados

Professores

Este módulo trouxe uma abordagem ao tema dos espelhos planos diferente da habitualmente realizada por parte dos docentes. Por consulta aos professores intervenientes, este tópico era dado geralmente em uma ou duas aulas onde eram apresentadas as características das imagens e, nalguns casos, era feita a construção geométrica das imagens em espelhos planos. Os manuais escolares não abordam as questões b), c) e d) discutidas anteriormente (no subcapítulo 9.1.2), o que pode explicar a ausência deste tipo de exploração na prática letiva dos professores.

Na apresentação do módulo aos docentes, foram discutidas todas as questões centrais. O tipo de simetria que ocorre num espelho plano pareceu novidade para alguns professores, bem como o procedimento a adotar para averiguar se um objeto é ou não visível para um observador numa determinada posição. Curiosa foi também a reação dos docentes ao saberem que quando nos afastamos de um espelho plano de menor dimensão não conseguimos ver mais do nosso corpo (a fração visível não aumenta). Esta reflexão fez com que os professores reconhecessem a importância das referidas questões na prática letiva.

Devido à rigorosa gestão do tempo letivo, este projeto optou por analisar mais detalhadamente os espelhos planos e explorar qualita-

tivamente os espelhos curvos. Esta opção foi aplaudida pelos professores que referiram que nunca tinham tempo para explicar com algum pormenor os espelhos curvos. Por outro lado, pela sua experiência, pressentiam que a construção geométrica de espelhos curvos, apesar de importante, tornava-se muito demorada não sobrando tempo para a sua exploração e interpretação por parte dos alunos.

Um último apontamento vai para o uso do espelho semitransparente, que se revelou numa importante ferramenta para combater algumas das ideias interiorizadas pelos alunos e que dificilmente se ultrapassam com aulas tradicionais. Os professores reconheceram a importância deste dispositivo e mostraram interesse em utilizá-lo nos anos seguintes.

Alunos

A informação relativa à avaliação deste módulo está sintetizada na Tabela 18.

	Pré-teste			Pós-teste			Diferença
	M ¹	DP ²	p-value ³	M ¹	DP ²	p-value ³	p-value ⁴
Grupo experimental	2.69	0.995	0.001*	3.55	1.293	0.000*	0.000*
Grupo de controlo	2.27	1.115		2.38	1.126		0.417

(1) Média (2) Desvio Padrão (3) Teste de Mann-Whitney U (4) Teste de Wilcoxon

* Diferenças estatisticamente significativas para um nível de significância de 0.05

Tabela 18: Resultados estatísticos relativos ao módulo *Espelhos planos*

Os resultados dos pré-testes, em ambos os grupos, corroboram estudos anteriores [85, 86] já que as respostas maioritariamente escolhidas pelos alunos consistem em conceções alternativas, como mostra a Tabela 19. A negrito encontra-se a resposta correta para cada questão.

- Na questão 1 (Q1), nos pré-teste, as respostas encontram-se distribuídas maioritariamente pelas três primeiras opções. A opção c) consiste numa conceção alternativa: a imagem num espelho plano é formada à frente do espelho segundo uma linha que une o observador e o objeto. Relativamente a esta opção, ela foi escolhida por 30.2% dos alunos do grupo de controlo e 25.2% dos alunos do grupo experimental. Já no pós-teste, a opção correta é escolhida por 64.7% dos alunos do grupo experimental, aproximadamente o dobro do resultado do grupo de controlo (32.7%). A opção d) não foi escolhida por um número significativo de alunos mas refere-se igualmente a uma conceção alternativa: um objeto que não esteja à frente de um espelho plano não formará imagem. Este resultado

		Pré-teste		Pós-teste	
		Controlo	Experimental	Controlo	Experimental
Questão 1	a)	35.2	30.5	37.0	8.7
	b)	30.9	41.7	32.7	64.7
	c)	30.2	25.2	25.9	26.0
	d)	3.7	2.6	4.3	0.7
Respostas válidas*		162	151	162	150
Questão 2	a)	14.4	10.6	7.4	8.7
	b)	30.6	39.1	35.8	29.3
	c)	17.5	11.9	19.1	18.7
	d)	37.5	38.4	37.7	43.3
Respostas válidas*		160	151	162	150
Questão 3	a)	26.5	29.1	27.7	53.3
	b)	15.4	10.6	17.6	6.0
	c)	51.2	58.3	50.9	40.7
	d)	6.8	2.0	3.8	0.0
Respostas válidas*		162	151	159	150
Questão 4	a)	54.0	67.5	62.5	38.7
	b)	20.5	23.2	19.4	59.3
	c)	20.5	6.0	15.0	1.3
	d)	5.0	3.3	3.1	0.7
Respostas válidas*		161	151	160	150
Questão 5	a)	16.1	15.2	15.5	12.0
	b)	8.1	2.0	1.9	2.0
	c)	7.5	1.3	6.2	4.0
	d)	65.2	79.5	75.2	82.0
	e)	3.1	2.0	1.2	0.0
Respostas válidas*		161	151	161	150
Questão 6	a)	70.4	84.8	77.6	86.7
	b)	3.1	1.3	1.2	1.3
	c)	5.6	1.3	5.0	1.3
	d)	13.6	11.9	14.3	10.7
	e)	7.4	0.7	1.9	0.0
Respostas válidas*		162	151	161	150

* As percentagens apresentadas foram calculadas considerando apenas as respostas válidas.

Tabela 19: Frequências de respostas dos pré/pós-testes, por questão, em %, no módulo *Espeelhos planos*

indica-nos que esta última conceção é menos significativa face à apresentada na opção c).

- A questão 2 (Q2) foi uma questão com resultados enigmáticos. A distribuição das respostas foi muito dispersa, não nos permitindo sugerir uma explicação para ela. Ambos os grupos diminuíram a sua prestação do pré para o pós-teste.
- A resposta à questão 3 (Q3) mostrou claramente uma conceção alternativa: quando um observador altera a sua posição à frente do espelho, a imagem formar-se-á na direção oposta à do movimento. Assim se um observador se mover para a esquerda, a imagem forma-se mais à direita. Esta ideia resulta da conceção errada de que a imagem num espelho plano é formada à frente do espelho segundo uma linha que une o observador e o objeto. No pré-teste, tanto no grupo de controlo como no grupo experimental, a hipótese c) foi a mais escolhida. No pós-teste, o grupo experimental demarcou-se claramente do grupo de controlo.

- Na questão 4 (Q4) era testada a concepção alternativa de que a fração da imagem visível do nosso corpo num espelho plano aumenta com a distância a este - opção a). Assim, no pré-teste, esta opção foi a escolhida maioritariamente pelos alunos, apesar de ter sido substancialmente maior no grupo experimental (67.5% no grupo experimental e 54.0% no grupo de controlo). Após a leção, mais alunos do grupo de controlo demonstraram esta concepção (62.5%) enquanto que no grupo experimental o valor reduziu para metade (38.7%), sendo que a maioria escolheu a opção correta (59.3%).
- A questão 5 (Q5) é uma questão tradicionalmente explorada nos manuais escolares, pelo que neste contexto serviu igualmente como uma questão de controlo. Foi colocada no teste para averiguar o desempenho do grupo experimental em questões familiares ao grupo de controlo. Esta opção foi escolhida maioritariamente pelos alunos no pré e pós-teste mas o grupo experimental teve melhores resultados no pós-teste: 75.2% dos alunos no grupo de controlo escolheram a opção correta, enquanto que no grupo experimental a percentagem é superior, 82.0%.
- A questão 6 (Q6) é uma variante da questão 5. O grupo experimental voltou a revelar uma melhor *performance*.

Na Figura 15, é possível analisar a média das classificações dos dois grupos antes e após a instrução; no pré-teste as médias são próximas: 2.27 no grupo de controlo ($DP = 1.115$) e 2.69 no grupo experimental ($DP = 0.995$). Aplicando o teste de *Mann-Whitney*, foi testada a hipótese nula obtendo-se um $p\text{-value} = 0.001$ o que indica que as amostras não podem ser consideradas equivalentes.

Ambos os grupos registaram uma melhor *performance* no pós-teste; a média do grupo de controlo foi de 2.38 ($DP = 1.126$) e a do grupo experimental 3.55 ($DP = 1.293$). Aplicando novamente o teste de *Mann-Whitney U* a fim de verificar se as duas medianas nos pós-testes não são significativamente diferentes, obteve-se um $p\text{-value} = 0.000$, o que permite concluir com uma probabilidade de erro de 5% que as medianas dos dois grupos são significativamente diferentes pelo que a mediana do grupo experimental é significativamente superior à mediana do grupo de controlo.

O grupo experimental teve assim uma prestação significativamente superior registando um ganho normalizado de 26.0%. No grupo de controlo, o ganho foi de 3.0%.

No grupo experimental, a melhoria do pré para o pós-teste foi significativa, de acordo com o teste de *Wilcoxon* ($p\text{-value} = 0.000$). Já no caso

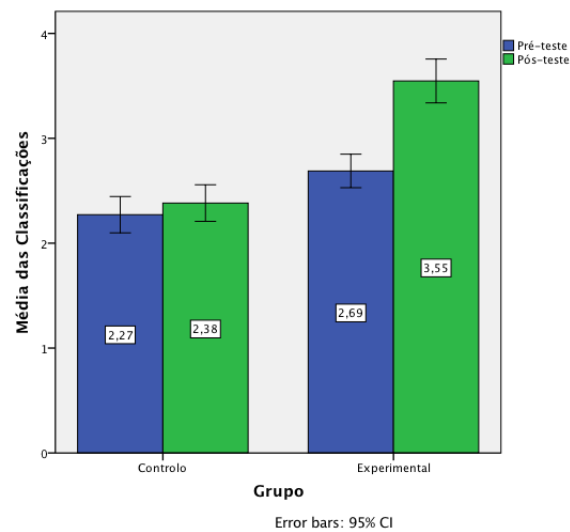


Figura 15: Média das classificações, em ambos os grupos, antes e após a instrução do módulo *Espelhos planos*

do grupo de controlo, com uma probabilidade de erro de 5%, o mesmo não se verifica (p -value = 0.417).

Fazendo uma análise aluno a aluno, a percentagem de alunos do grupo experimental que melhorou a sua *performance* foi de 55.6% e 14.6% piorou. No grupo de controlo a melhoria foi registada em apenas 37.7% dos alunos, um valor ligeiramente superior à percentagem de alunos que piorou (34.6%). A Figura 16 mostra graficamente esta tendência.

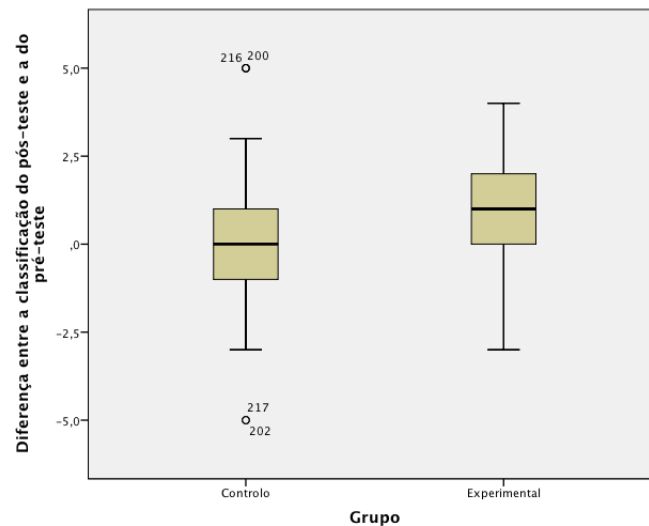


Figura 16: Diferença entre o pós e o pré-teste (por aluno) no módulo *Espelhos planos*

Uma análise focalizada em cada questão deixa transparecer que o grupo experimental teve melhores resultados em todas as questões. Nas questões 1, 3 e 4 o grupo experimental registou melhorias significativas ($p\text{-value} = 0.000$) relativamente ao pré-testes. Q4 foi a questão que registou uma melhoria mais significativa.

No grupo de controlo, apenas Q5, a questão mais parecida com os exercícios apresentados nos manuais, registou uma melhoria significativa. Q2 registou uma descida do pré para o pós-teste nos dois grupos, apesar de ter sido uma descida significativa apenas no grupo de controlo. Q4 registou igualmente uma descida no grupo de controlo, o que significa que este grupo, ao trabalhar com espelhos planos reforçou a conceção alternativa de que quando nos afastamos de um espelho plano, conseguimos ver uma fração maior do nosso corpo.

	Questões					
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
Grupo experimental	39.4	-2.1	34.1	47.0	12.2	12.5
Grupo de controlo	2.6	-7.9	1.0	-1.6	28.1	23.0

Tabela 20: Ganho normalizado, por questão, no módulo *Espelhos planos*

No grupo de controlo, 43.8% dos alunos tiveram uma classificação positiva no pré-teste, que subiu para 57.9% no pós-teste. No grupo experimental, a subida foi maior: de 57.9% para 77.3%. Como cada questão correta foi cotada com um ponto, uma média positiva implicava pelo menos 3 questões corretas.

Foram igualmente analisados os resultados de cada escola (Figura 17). No grupo de controlo, nenhuma escola conseguiu melhorias significativas entre o pré e o pós-teste. A escola SCD até piorou os seus resultados após instrução. Já no grupo experimental, as diferenças do pré para o pós-teste são bastante significativas em ambas as escolas. Neste grupo, a escola IND registou os melhores resultados. Já no grupo de controlo, AH foi a escola que esteve melhor.

9.4 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os resultados mostram que os alunos envolvidos neste programa (151 alunos) tiveram uma melhor *performance* no pós-teste relativamente ao grupo de controlo (162 alunos). O ganho normalizado do grupo experimental (26.0%), apesar de reduzido, foi ainda assim bastante superior ao do grupo de controlo (3.0%) e, enquanto que no grupo

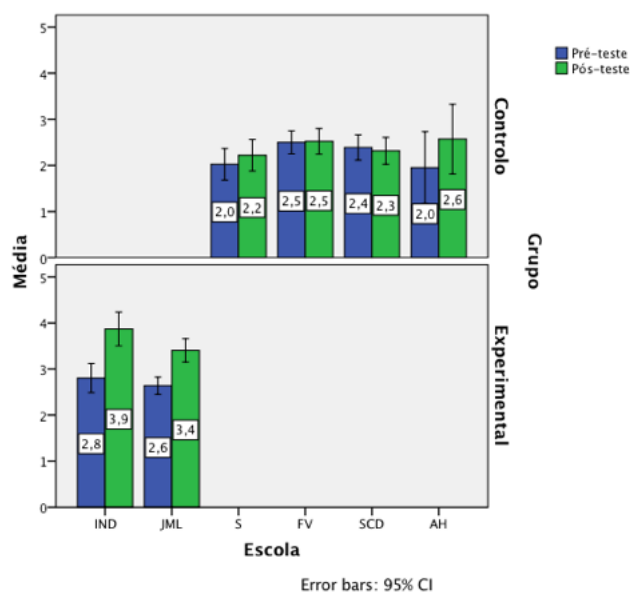


Figura 17: Resultados das escolas no módulo *Espelhos planos*

experimental, os resultados dos pós-testes foram significativamente superiores aos dos pré-testes, o mesmo não se verificou no grupo de controlo.

Os resultados estatísticos favoráveis foram corroborados pelos professores envolvidos no projeto. Com este módulo, os professores ficaram sensíveis a vários pormenores que não estão presentes nos manuais escolares e, por conseguinte, raramente discutidos em sala de aula.

Há fortes indicadores que o sucesso do módulo esteve muito relacionado com uma compreensão mais fundamentada da formação de imagens em espelhos planos, por parte dos professores, e pela utilização do espelho semitransparente. Na opinião dos docentes, este dispositivo tornou-se uma ferramenta essencial porque puderam resolver de uma forma rápida e eficaz as principais dificuldades sentidas pelos alunos na aprendizagem deste conceito. A aula laboratorial foi considerada imprescindível porque os alunos puderam consolidar as suas aprendizagens trabalhando com materiais do dia-a-dia.

Tal como estava previsto nas planificações, o espelho semitransparente só foi utilizado na aula teórica por alunos e professor para fazer demonstrações. Os professores referiram que essa opção se constituiu como desvantagem, uma vez que todos os alunos deveriam ter trabalhado com o espelho semitransparente na aula laboratorial. Foi igualmente discutido que algumas das questões dos pré/pós-testes deveriam ser melhoradas para permitirem a extração de indicadores mais úteis. Por exemplo, a questão 5 corrobora a conceção alternativa do tipo de inversão ocorrida num espelho. Dever-se-ia incorporar uma

questão em que o contexto conduziu à necessidade do aluno conhecer a real inversão de um espelho.

Este módulo ficou marcado por um fraco desempenho do grupo de controlo. Em nenhuma escola do grupo de controlo foram registadas melhorias significativas e numa das escolas os alunos até diminuíram a sua *performance*. Apenas a questão Q5 regista melhorias significativas do pré para o pós-teste, melhoria óbvia, uma vez que se trata de uma questão vulgar em manuais escolares. Estes resultados indicam, antes de mais, que provavelmente os alunos do grupo de controlo não exploraram os espelhos planos de uma forma que atendessem às principais preocupações das investigações nesta área.

Em jeito de conclusão, este módulo mostrou-nos que os espelhos planos constituem uma área de lecionação muito sensível, que precisa de ser trabalhada pelos professores e que não pode limitar-se ao tipo de exploração presente nos manuais escolares. Por outro lado, o facto dos professores serem condicionados pelos manuais escolares reflete, por um lado, falta de conhecimento científico e, por outro, ausência de fortes indicadores decorrentes da investigação em ensino da Física.

REFRAÇÃO

10.1 PREPARAÇÃO

O presente módulo inclui os fenômenos da refração e decomposição da luz branca por difração e dispersão. Tal como nos módulos anteriores, foi realizado um levantamento das principais dificuldades dos alunos neste campo. Na Tabela 21 listamos as principais concepções alternativas dos alunos no que respeita ao fenômeno da refração [81, 86].

1. Quando a luz passa para meios diferentes não muda de direção.
2. Quando um objeto é visto por um material transparente sólido ou líquido, é visto exatamente onde está localizado.
3. O tamanho da imagem depende do tamanho da lente.
4. A imagem é formada na lente.

Tabela 21: Concepções alternativas dos alunos sobre o fenômeno da refração

A literatura existente sobre esta temática destaca que os alunos têm alguma dificuldade em associar a presença de lente à formação da imagem, isto é, para eles não é preciso existir lente para existir imagem. Por outro lado, dificilmente reconhecem que se metade de uma lente for tapada, a imagem continua intacta e apenas o seu brilho diminui, porque a luz é emitida por todos os pontos do objeto e em todas as direções e, por isso, passa por todas as partes da lente [91]. As construções geométricas habituais nos livros de texto, baseadas apenas no traçado de dois raios “especiais” (raio paralelo ao eixo ótico e outro que passa pelo centro da lente e que não sofre desvio), em nada contribuem para ultrapassar esta concepção.

Das concepções apresentadas na Tabela 21, nem todas são aplicáveis a alunos do 8.º ano, uma vez que estes estudantes nunca falaram de refração e, à partida, não têm grande familiaridade com lentes ou com o conceito de alvo. Contudo, uma vez que investigações nesta área identificam unanimemente estas ideias como usuais em alunos após uma aprendizagem académica deste fenômeno, pareceu-nos útil tê-las em consideração na preparação deste módulo.

O princípio de Fermat, apesar de ausente nos manuais escolares, foi considerado essencial para iniciar o fenômeno da refração numa abordagem qualitativa. A ideia de que a luz escolhe sempre o “caminho” mais rápido, o que nem sempre coincide com o “caminho” mais curto, pareceu-nos importante para alunos que desconhecem as leis de *Snell-Descartes* e que, por isso, não conseguem prever qualitativamente o tipo de desvio da luz quando esta muda de meio.

O módulo determinou como objetivos:

- *Reconhecer que a luz se desvia quando passa de um meio transparente para outro, se não incidir segundo a normal;*
- *compreender que a refração só ocorre em corpos/meios transparentes;*
- *identificar a reflexão, a refração e a propagação retilínea da luz como uma expressão do princípio de Fermat;*
- *relacionar o mecanismo da refração da luz com a mudança da velocidade da luz devido à mudança de meio;*
- *saber que a velocidade e o comprimento de onda da luz se alteram quando esta muda de meio, o mesmo não acontecendo com a frequência que se mantém constante;*
- *identificar numa refração os ângulos de incidência e refração e os raios incidente, refletido e refratado;*
- *verificar que quando a luz passa para um meio onde a velocidade é superior o raio refratado aproxima-se da normal à superfície de separação dos dois meios e vice-versa;*
- *explicar que na superfície de separação de dois meios transparentes há sempre uma parte de luz que se refrata, uma parte absorvida, e uma parte refletida;*
- *compreender que o nosso cérebro localiza a imagem segundo a direção dos raios de luz que chegam ao olho;*
- *compreender o conceito de ângulo crítico e sua importância para o fenômeno da reflexão total;*
- *medir o valor do ângulo crítico em situações concretas;*
- *saber que o valor do ângulo crítico depende do meio ótico considerado;*
- *identificar a reflexão total como o fenômeno que explica o funcionamento das fibras óticas;*
- *enumerar algumas aplicações das fibras óticas;*
- *definir lente;*

- *distinguir lentes convergentes de lentes divergentes;*
- *conhecer o comportamento da luz quando incide em lentes convergentes e divergentes;*
- *definir foco e distância focal;*
- *identificar, para casos concretos, o foco e a distância focal;*
- *calcular a vergência de uma lente;*
- *identificar e distinguir imagens reais de virtuais, associando-as ao tipo de lente correspondente;*
- *identificar o cristalino como uma lente convergente;*
- *localizar no olho humano a pupila, a íris, o cristalino, a retina, a córnea, o nervo ótico e o humor vítreo;*
- *conhecer as funções principais da pupila, íris, cristalino, retina, córnea, nervo ótico e humor vítreo no processo de visão;*
- *identificar a retina como o constituinte do olho onde se forma a imagem;*
- *reconhecer que só existe imagem se estivermos perante um espelho ou uma lente (ou outro dispositivo ótico capaz de formar imagem);*
- *conhecer e explicar em que consiste a Miopia e a Hipermetropia, bem como a forma de as corrigir;*
- *reconhecer que a luz branca é constituída por radiações de diferentes comprimentos de onda;*
- *referir a difração e a dispersão como dois processos de obter a decomposição da luz branca;*
- *saber que dispersão se deve ao facto da velocidade da luz não ser a mesma para todas as frequências;*
- *saber que uma rede de difração é composta por uma superfície com uma enorme quantidade de riscas, só visíveis ao microscópio;*
- *identificar no espectro eletromagnético os comprimentos de onda correspondentes à gama do visível;*
- *reconhecer que quanto maior é a frequência, menor é o comprimento de onda e vice-versa;*
- *explicar o motivo pelo qual o arco-íris só é visível para observadores de costas para o Sol;*
- *representar, numa gota de água, os raios incidentes, refletidos e refratados, responsáveis pela formação do arco-íris.*

10.2 IMPLEMENTAÇÃO

10.2.1 Procedimento

O material relativo a este módulo encontra-se no CD que acompanha a tese.

O presente módulo, o mais extenso desta unidade, foi desenvolvido para três aulas de 90 min com componente teórica e laboratorial. Praticamente todo o módulo aborda o fenómeno da refração numa perspectiva essencialmente qualitativa. Assim, na aula teórica, apostou-se em atividades que remetessem os alunos para situações do dia-a-dia, que destacassem o conceito físico a ser estudado e, simultaneamente, colocassem em xeque as ideias e expectativas dos alunos, exigindo novas explicações. Numa fase posterior, apostou-se em atividades que levassem à construção dos conceitos científicos e do formalismo correspondente. Nas aulas laboratoriais, optou-se por atividades secundárias, mais ou menos formais, algumas das quais semelhantes às exploradas nas aulas teóricas, para aprofundar a parte conceptual, com a aplicação de leis e das construções geométricas.

A primeira aula deste módulo foi iniciada com uma experiência clássica simples: a visualização de uma palhinha dentro de um copo, inicialmente sem água e depois com água. Esta experiência serviu para iniciar um debate entre professor e alunos no sentido destes compreenderem que a luz refletida pela palhinha, na segunda situação, propagou-se em dois meios distintos e que a luz recebida pelos olhos chega em duas direções distintas, por isso ela parece “partida”. A refração é assim introduzida num contexto em que se torna claro que a luz se desvia ao mudar de meio.

O princípio de Fermat é introduzido simultaneamente com o fenómeno da refração através de situações do dia-a-dia. São explorados alguns exemplos com os alunos, onde estes têm de representar o raio incidente, o raio refletido, o ângulo de incidência e o ângulo de refração. Assim, as preocupações geométricas vêm sempre acompanhadas com as vivências do dia-a-dia dos alunos.

A aula segue com outra experiência clássica: a da moeda invisível dentro de um recipiente que, após ser colocada água, se torna visível. A explicação geométrica desta situação, feita por um aluno no quadro, é seguida pelo fenómeno da reflexão total que é apresentado com material magnético (quadro, lente, fonte de alimentação, transferidor) para uma melhor compreensão. As miragens, que também fizeram parte da formação de professores, foram deixadas como tema opcional.

A componente laboratorial que acompanhou esta aula é constituída por quatro estações experimentais, como podemos ver na Figura 18. A primeira estação experimental estava relacionada com a utilização de fibras óticas e o fenómeno da reflexão total, bem como as vantagens deste tipo de transporte de informação face aos fios de cobre. Na

estação seguinte foi feita uma réplica da experiência da moeda invisível, realizada na aula teórica, para todos os alunos a poderem explorar autonomamente e com mais tempo.

A estação experimental 3 relaciona-se com a medição de ângulos críticos e a exploração do próprio conceito de ângulo crítico. Na estação experimental 4 estuda-se o fenómeno da reflexão e da refração simultaneamente.

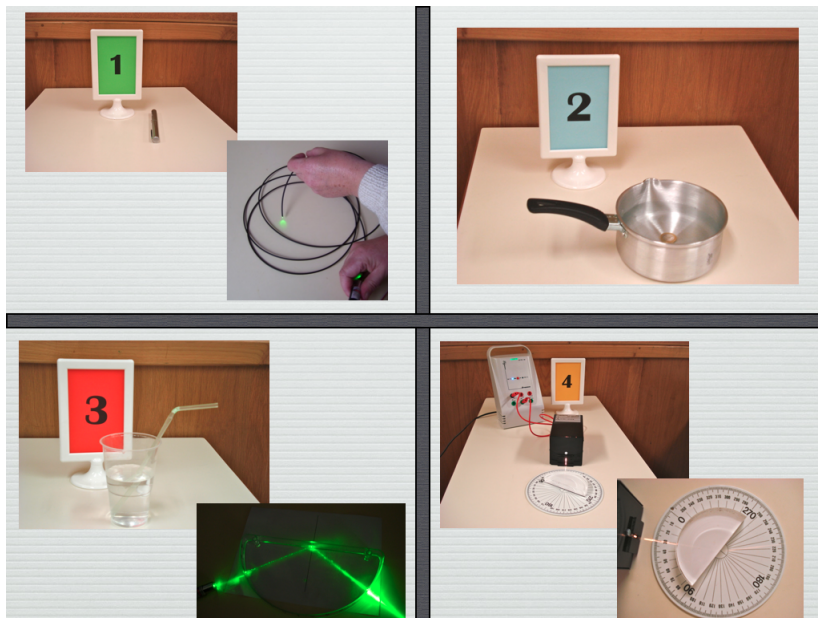


Figura 18: AL: “A magia das moedas”

A segunda aula foi dedicada ao estudo de lentes e aos conceitos físicos subjacentes: foco, distância focal e vergência (ou potência focal). Todos estes conceitos foram explorados no quadro magnético. Após um estudo dos principais constituintes do olho humano, foram abordadas as doenças de visão: miopia e hipermetropia, mais uma vez exploradas com o *kit* de ótica magnético. Os alunos, posteriormente, foram convidados a escolher as lentes que melhor se adaptavam à correção das doenças anteriores.

A aula laboratorial “*Que lentes uso, Sr. Doutor?*”, ilustrada pela Figura 19, restringiu-se ao estudo das lentes e doenças de visão. Na estação experimental 1, os alunos classificaram diferentes lentes em convergentes ou divergentes e exploraram o diagrama de raios para cada situação, identificando o tipo de foco (virtual/real).

Na estação experimental 2, os alunos analisavam uma receita médica e na estação 3 exploravam os conceitos de distância focal, vergência e doenças da visão, numa situação concreta. A estação experimental 4 foi



Figura 19: AL: “Que lentes uso, Sr. Doutor?”

baseada nos trabalhos de Goldberg e McDermott [91] e consistia numa montagem experimental constituída por uma vela, uma lente e um alvo. As perguntas apresentadas aos alunos visavam combater as suas conceções erradas sobre lentes. Esta estação sensibilizava o professor para os seguintes pontos:

1. Os alunos não associam a presença da lente à formação da imagem.
2. Se metade da lente for tapada, a imagem continua intacta e apenas o seu brilho diminui porque a luz é emitida por todos os pontos do objeto e em todas as direções e passa por todas as partes da lente.
3. A imagem é formada no ecrã e não na lente.
4. Os alunos não assumem que a luz emitida/refletida por um ponto se propaga em todas as direções.
5. É preciso um alvo para tornar uma imagem real visível de vários ângulos de observação. Os raios de luz intersectam-se mas, se não houver difusão em várias direções pelo alvo, a imagem só é visível na direção de propagação dos raios emergentes que se intersectam no plano da imagem.

A última aula deste módulo foi destinada ao estudo da decomposição da luz por difração e dispersão, dando especial atenção ao fenómeno

do arco-íris, geralmente abordado nos manuais escolares de uma forma muito superficial.

A aula foi iniciada pela parte laboratorial (20 min) e excecionalmente não teve estações experimentais, como podemos ver na Figura 20. Na primeira tarefa, os alunos exploraram o espectro eletromagnético, bem como os conceitos de comprimento de onda e frequência. A radiação visível foi analisada e os alunos verificaram, experimentalmente, que a luz branca se pode decompor através de dois processos: a dispersão e a difração.

Após uma explicação mais detalhada por parte do professor relativamente aos conceitos anteriores, o fenómeno do arco-íris foi introduzido, tendo em consideração os seguintes tópicos:

1. Há a perceção de sete cores diferentes no arco-íris e que são, de dentro para fora do arco: violeta, anil, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho.
2. As gotas de água no ar atuam de forma similar a um prisma, separando diferentes radiações (cores) que compõem a luz, produzindo um espectro conhecido como arco-íris.
3. No arco-íris ocorrem duas refrações e uma reflexão total. Assim, a luz sofre uma refração inicial quando penetra na superfície da gota de água, dentro da gota ela é refletida e sofre nova refração ao sair da gota.
4. O arco-íris é apenas visível se o observador estiver de frente para as gotas de água e de costas para o Sol.
5. A radiação vermelha é a menos desviada e a violeta a mais desviada.

Após esta análise, os alunos terminam a parte laboratorial com o professor. Com a ajuda de um texto de Rómulo de Carvalho [92], os alunos representaram o percurso da radiação dentro de uma gota de água com lápis vermelho e violeta para compreenderem que a radiação vermelha é a menos desviada e a violeta a mais desviada.

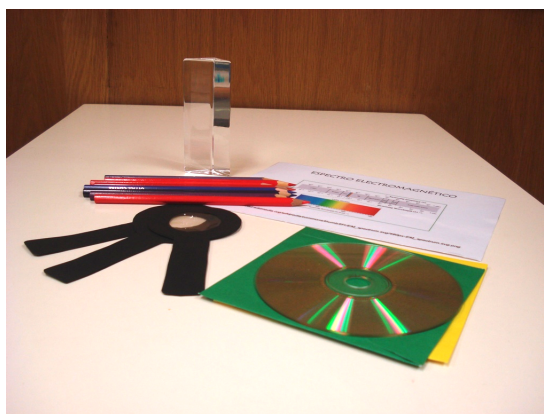


Figura 20: AL: “Como se forma o arco-íris?”

	Escolas						Total
	IND	JML	S	FV	SCD	AH	
Grupo experimental	22	87					109
Grupo de controlo			41	47	53	21	162

Tabela 22: Número de alunos participantes no módulo *Refração*

10.2.2 Participantes

Neste módulo participaram 162 alunos do grupo de controlo e 109 do grupo experimental (Tabela 22). Apesar da formação ter abrangido 8 professores, apenas temos resultados (pré/pós-testes) de 4 professores.

10.3 AVALIAÇÃO

10.3.1 Pré/pós-teste

Ver Anexo A (pg. 212).

As questões apresentadas no pré/pós-teste foram adaptadas da literatura já existente [81], à exceção da questão 6, redigida pela autora do estudo. As primeiras quatro questões pretendiam detetar as conceções alternativas já identificadas (Tabela 21). A questão cinco estava relacionada com características gerais de espelhos e lentes. A questão seis limitava-se a saber se os alunos compreendiam o fenómeno do arco-íris.

A validade deste instrumento foi assegurada pela revisão de dois professores de Física e Química do ensino básico/secundário e um do ensino superior. Foram igualmente consultados outros professores do ensino básico/secundário para assegurar que as questões iam de encontro às orientações curriculares [31]. Os professores consideraram todas as questões adequadas, à exceção da questão 6.2. Relativamente a esta questão, os professores referiram que o fenómeno do arco-íris é

geralmente abordado no ensino básico de uma forma muito superficial pelo que consideravam esta questão muito ambiciosa. Ao consultar os manuais escolares, esta opinião foi facilmente confirmada pela ausência de um tratamento mais formal do fenómeno.

Concepções alternativas	Questões
Quando a luz passa para meios diferentes não muda de direção; Quando um objeto é visto por um material transparente sólido ou líquido, o objeto é visto exatamente onde está localizado.	Q1b) Q3c)
A imagem é formada na lente	Q4d)

Tabela 23: Identificação das concepções alternativas nas diferentes questões, no módulo *Refração*

10.3.2 Resultados

Professores

Os professores revelaram desconhecimento total relativamente ao princípio de Fermat (na sua grande maioria, nunca tinham ouvido falar deste princípio), contudo consideraram tratar-de de uma ferramenta importante para os 8.º e 11.º anos, uma vez que proporcionava uma compreensão mais intuitiva dos fenómenos óticos (reflexão e refração). Os docentes realçaram ainda que, como o fenómeno do arco-íris era discutido nos manuais escolares com pouca profundidade, nunca tinham dado grande ênfase a este fenómeno.

Outro apontamento importante de registo foi a utilização do *kit* de ótica magnético. Apesar da maioria dos professores ter este tipo de material disponível na escola, ficou claro a sua rara utilização nas aulas de ótica. Os docentes consideraram fundamental a utilização desta ferramenta nas aulas de ótica geométrica, nomeadamente para visualização dos raios em lentes convergentes/divergentes, explicação dos conceitos de distância focal, foco (real/virtual), ângulo crítico e vergência e, por fim, para discussão das doenças da visão.

As estações experimentais com materiais do dia-a-dia foi outra das vantagens apontadas pelos professores. Consideraram importante o facto das atividades propostas aliarem vivências do quotidiano com os conceitos de física e, sobretudo, explorarem simultaneamente vários fenómenos numa mesma atividade, como por exemplo a reflexão e refração.

Contudo, os professores referiram que o tempo pré-definido para as aulas deste módulo foi alargado e superior ao habitualmente concedido

em anos anteriores. Ao questionar os professores sobre a eventualidade de retirar tópicos para cumprir a planificação anual, foi-nos sugerido, unanimemente, para não discutir os fenómenos da dispersão e difração com o grau de profundidade apresentado.

Alunos

A principal informação relativa à avaliação deste módulo está sintetizada na Tabela 24. Na Tabela 25 encontram-se os resultados dos pré/pós-testes de ambos os grupos. A negrito encontra-se a resposta correta para cada questão.

	Pré-teste			Pós-teste			Diferença
	M ¹	DP ²	p-value ³	M ¹	DP ²	p-value ³	p-value ⁴
Grupo experimental	1.76	1.017	0.000*	4.11	1.554	0.000*	0.000*
Grupo de controlo	1.82	1.174		2.32	1.377		0.000*

(1) Média (2) Desvio Padrão (3) Teste de Mann-Whitney U (4) Teste de Wilcoxon

* Diferenças estatisticamente significativas para um nível de significância de 0.05

Tabela 24: Resultados estatísticos relativos ao módulo *Refração*

- As questões 1, 2 e 3 relacionam-se com o mesmo tópico: o desvio da luz quando esta muda de meio transparente.
 - No pré-teste, na questão 1 (Q1), em ambos os grupos, a opção mais escolhida foi a b), o que reflete a conceção alternativa já identificada em estudos anteriores: quando a luz passa por meios diferentes não muda de direção. O mesmo acontece na questão 3 (Q3), onde a opção com maior frequência é a c). Na questão 2 (Q2), a opção mais escolhida é a cientificamente correta e as restantes respostas distribuem-se quase aleatoriamente pelas quatro opções. Uma explicação possível é que nenhuma das opções incorretas corresponde a uma conceção alternativa.
 - No pós-teste, em Q1, a conceção alternativa continuou a ser a opção mais escolhida para o grupo de controlo, que contrastou com o grupo experimental, em que 61.5% escolheu a opção cientificamente correta (aproximadamente o dobro do grupo de controlo). Em Q2, os alunos do grupo de controlo

		Pré-teste		Pós-teste	
		Controlo	Experimental	Controlo	Experimental
Questão 1	a)	19.8	23.9	30.2	24.8
	b)	46.3	44.0	32.1	12.8
	c)	14.8	20.2	30.2	61.5
	d)	19.1	11.9	7.4	0.9
Respostas válidas*		162	109	162	109
Questão 2	a)	24.1	14.0	12.3	7.3
	b)	37.0	42.1	36.4	87.2
	c)	31.5	29.9	40.7	4.6
	d)	7.4	14.0	10.5	0.9
Respostas válidas*		162	107	162	109
Questão 3	a)	24.7	19.4	31.6	60.6
	b)	7.4	24.1	19.0	20.2
	c)	38.9	41.7	25.9	12.8
	d)	29.0	14.8	23.4	6.4
Respostas válidas*		162	108	158	109
Questão 4	a)	26.3	20.6	20.0	25.2
	b)	17.3	27.1	26.5	30.8
	c)	17.9	15.0	9.0	7.5
	d)	38.5	37.4	44.5	36.4
Respostas válidas*		156	107	155	107
Questão 5	a)	35.0	39.3	16.1	15.7
	b)	31.9	27.1	55.9	57.4
	c)	10.6	10.3	8.7	8.3
	d)	22.5	23.4	19.3	18.5
Respostas válidas*		160	107	161	108
Questão 6.1	a)	31.7	24.8	45.3	51.4
	b)	36.6	49.5	28.0	35.8
	c)	11.2	4.6	18.0	9.2
	d)	20.5	21.1	8.7	3.7
Respostas válidas*		161	109	161	109
Questão 6.2	a)	37.3	39.8	39.2	15.6
	b)	17.4	24.1	15.2	68.8
	c)	15.5	7.4	7.6	2.8
	d)	29.8	28.7	38.0	12.8
Respostas válidas*		161	108	158	109

* As percentagens apresentadas foram calculadas considerando apenas as respostas válidas.

Tabela 25: Frequências de respostas dos pré/pós-testes, por questão, em %, no módulo *Refração*

pioraram a sua *performance* (37.0% para 36.4%). Já o grupo experimental duplicou, aproximadamente, o número de alunos que acertou à questão. Na questão 3, o grupo experimental triplicou, aproximadamente, o número de alunos que responderam corretamente, enquanto o grupo de controlo teve uma subida mais modesta.

- Na questão 4 (Q4), 38.5% dos alunos do grupo de controlo, no pré-teste, afirma que a imagem se forma à frente da lente pelo que não é preciso uma tela para a imagem continuar a ser vista. No grupo experimental, o número de alunos com esta conceção é ligeiramente inferior, 37.4%. No pós-teste a situação inverte, mais alunos continuam com esta conceção (44.5%) no grupo de controlo e menos no grupo experimental (36.4%). Quanto à opção

correta, o valor diminui no grupo de controlo (de 26.3% para 20.0%) e sobe no grupo experimental (20.6% para 25.2%).

- Na questão 5 (Q5), uma questão desconhecida para ambos os grupos, o grupo experimental teve novamente melhores resultados. Note-se, contudo, que no pré-teste, a opção correta é escolhida por mais alunos do grupo de controlo (31.9% no grupo de controlo e 27.1% no grupo experimental).
- A questão 6 (Q6) subdividia-se em duas questões: Q6.1 e Q6.2. A primeira tratava-se de uma questão que, de acordo com uma breve consulta aos manuais escolares seria facilmente respondida (questão de controlo). Já a questão 6.2 requeria um estudo mais aprofundado do fenómeno. Os resultados estão de acordo com o esperado, uma vez que os alunos de ambos os grupos melhoraram a sua performance do pré para o pós-teste na Q6.1, apesar dos alunos do grupo experimental terem tido melhores resultados. Já na questão 6.2, o grupo experimental triplicou, aproximadamente, o número de respostas certas. Nesta mesma questão, os alunos do grupo de controlo pioraram os seus resultados (de 17.4% para 15.2%).

Na Tabela 26 encontra-se o ganho normalizado de cada uma das questões em ambos os grupos.

	Questões						
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6.1	Q6.2
Grupo experimental	51.3	78.0	51.8	6.2	41.1	34.7	59.2
Grupo de controlo	17.6	- 1.6	8.0	-8.0	36.2	20.3	- 2.4

Tabela 26: Ganho normalizado, por questão, no módulo *Refração*

Em todas as questões, o grupo experimental apresenta melhorias do pré para o pós-teste. No grupo de controlo os resultados, após a leção da refração, foram piores nas questões 2, 4 e 6.2, isto é, em três das sete questões, os alunos do grupo de controlo pioraram os seus resultados. Aplicando o teste de *Wilcoxon*, no grupo experimental, foram registadas melhorias significativas em todas as questões à exceção de Q4. No grupo de controlo, registaram-se melhorias significativas em Q1, Q5 e Q6.1 e as descidas verificadas em Q2, Q4 e Q6.2 não foram significativas.

No grupo experimental, 89.9% dos alunos melhoraram a sua performance no teste e 4.6% pioraram. Relativamente ao grupo de controlo 45.7% melhoraram e 27.2% pioraram, como podemos ver na Figura 21.

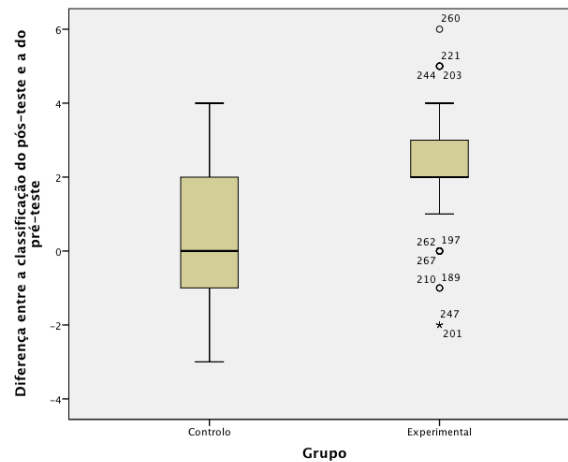


Figura 21: Diferença entre o pós e o pré-teste (por aluno) no módulo *Refração*

A média dos pré-testes (Figura 22) foi de 1.82 ($DP = 1.174$) no grupo de controlo e 1.76 ($DP = 1.017$) no grupo experimental. Aplicando o teste de *Mann-Whitney U*, foi testada a hipótese nula obtendo-se um $p\text{-value} = 0.000$, o que indica que as amostras são significativamente diferentes. Quanto ao pós-teste, os valores sobem para 2.32 ($DP = 1.377$) no grupo de controlo e 4.11 ($DP = 1.554$) no grupo experimental.

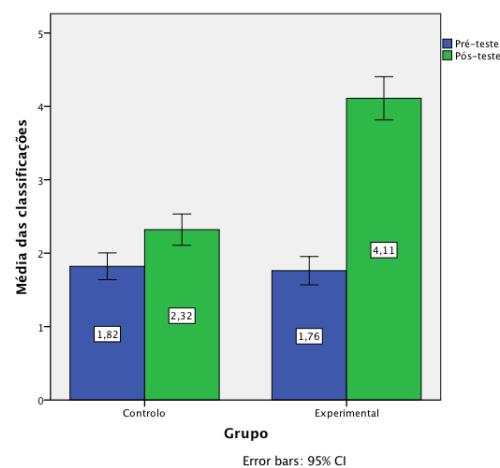


Figura 22: Média das classificações, em ambos os grupos, antes e após a instrução do módulo *Refração*

A melhoria foi significativa no grupo experimental e no grupo de controlo (p -value = 0.000).

Como seria expectável, tendo em consideração os dados anteriores, os resultados do grupo experimental são significativamente superiores aos do grupo de controlo (p -value = 0.000, aplicando o teste de *Mann-Whitney U*).

O ganho normalizado do grupo experimental foi de 44.9% enquanto que o do grupo de controlo foi de 9.7%. O questionário tinha, na sua totalidade 7 questões, o que significa que só teve positiva no teste alunos com, pelo menos, quatro questões certas. A percentagem de positivas no pré-teste foi de 6,8% no grupo de controlo e 5.5% no grupo experimental. No pós-teste, 22.2% dos alunos do grupo de controlo e 62.4% do grupo experimental tiveram positiva.

No gráfico da Figura 23, é possível analisar os resultados por escola. No grupo de controlo há melhorias significativas (para um nível de significância de 0.05) do pré para o pós-teste nas escolas SCD (p -value = 0.000), AH (p -value = 0.020) e S (p -value = 0.007), apesar da escola SCD ter registado melhores resultados. No grupo experimental, ambas as escolas registam melhorias significativas. A escola IND regista melhorias claramente superiores. Note-se que no grupo de controlo, a escola S piorou os seus resultados do pré para o pós-teste.

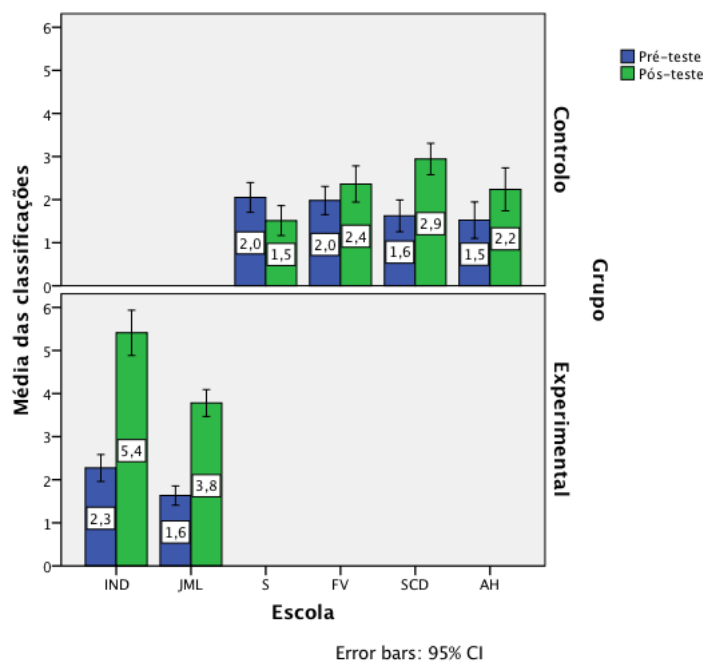


Figura 23: Resultados da escolas no módulo *Refração*

10.4 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Este módulo regista diferenças muito significativas entre os dois grupos, uma vez que os resultados do grupo experimental são claramente superiores aos do grupo de controlo: o ganho normalizado do grupo experimental (44.9%) é muito superior ao do grupo de controlo (9.7%).

Os professores do grupo experimental referiram que o grau de profundidade com que lecionaram a refração neste módulo distanciou-se claramente dos anos anteriores, levando-nos a concluir que, porventura, a prática letiva deste projeto distanciou-se fortemente da do grupo de controlo. Apesar de não podermos concluir que o diferente grau de exigência científica que os professores dedicaram nos dois grupos foi decisivo na *performance* dos alunos de cada um dos grupos, os resultados deste estudo indiciam esta conclusão.

Contudo, uma inferência muito preocupante deste estudo é a evolução negativa dos alunos do grupo de controlo em três das sete questões, apesar de terem registado uma melhoria significativa do pré para o pós-teste (na globalidade do questionário). Preocupante é, igualmente, a fraca prestação dos dois grupos em Q4, confirmando as preocupações partilhadas por McDermott e Goldberg [91]. Parece que os alunos têm dificuldade em compreender o conceito de imagem, sua formação e a função de um alvo. Assim, os resultados deste módulo indicam a necessidade dos professores desenvolverem práticas letivas sensíveis a estas preocupações.

Os professores do grupos experimental referiram que este módulo apresentou estratégias pedagógicas muito úteis para a lecionação deste módulo, desde logo, o princípio de Fermat, bem como a exploração dos fenómenos óticos com o *kit* magnético. De acordo com os docentes, este utensílio tornou-se uma mais valia no que respeita a representações e interpretações geométricas.

A proximidade entre os exemplos escolhidos ou atividades propostas do dia-a-dia com os conceitos físicos subjacentes, nas aulas teóricas e laboratoriais, foi apontada como outra das importantes características deste módulo. A explicação do arco-íris foi considerada por alguns professores demasiado demorada e complexa para alunos deste nível. Contudo, esta opinião não conseguiu reunir consenso entre os professores.

Relativamente à construção do questionário, os professores referiram que era demasiado sintético para avaliar este módulo. Partilhando desta opinião, poder-se-ia ter feito mais algumas questões que pudessem avaliar, mais eficazmente, o impacto do módulo nos modelos mentais dos alunos. Neste sentido, na questão 2, dever-se-ia incorporar numa das opções incorretas, a conceção alternativa da luz não mudar de

direção quando se altera o meio e poder-se-ia ter introduzido mais algumas questões sobre lentes.

A COR

11.1 PREPARAÇÃO

O ensino da cor é um dos tópicos mais sensíveis no domínio da ótica. Esta dificuldade prende-se essencialmente com dois fatores: por um lado, a riqueza de modelos mentais pré-existentes, resultantes de uma vivência permanente com o fenómeno, por outro, a sua complexidade, devido aos diferentes campos de conhecimento que a sua explicação envolve.

Um significativo corpo de investigação nesta área indica várias conceções erradas que os alunos possuem sobre o fenómeno da cor e conclui que estas ideias resultam da experiência do dia-a-dia com guaches, lápis-de-cor e tintas. Para a maioria dos alunos, misturar luzes é o mesmo do que pintar [93, 94, 95]. Estas ideias são reforçadas por muitos dispositivos de cores disponíveis no mercado, tal como a roda das cores, bem como por aprendizagens adquiridas em disciplinas como Educação Tecnológica.

As conceções alternativas mais frequentes sobre este fenómeno [93, 94, 95] estão organizadas na Tabela 27.

A cor é uma propriedade de um objeto e é independente da luz incidente ou do(s) filtro(s) sobre ele colocado(s);
A cor de um objeto mantém-se inalterável se incidir luz branca mas pode ser alterada se a luz for colorida;
Quando a luz passa por um filtro colorido, este adiciona a sua cor à luz;
A mistura de luzes segue as mesmas regras que a mistura de tintas;
As cores escuras tapam as cores claras;
O preto, o branco e o cinzento são cores;
A cor de uma sombra é sempre a cor da luz incidente;
A cor de um objeto resulta da mistura da sua própria cor com a da luz incidente;
A luz tem cor e dá a sua cor ao objeto;
A luz branca é incolor e clara, permitindo-nos observar a cor real de um objeto.

Tabela 27: Conceções alternativas dos alunos sobre o fenómeno da cor

Alguns estudos indicam que as falhas científicas dos alunos relativamente à propagação da luz [75, 79, 96, 97, 98] são, em parte, responsáveis pelas concepções erradas e posteriores dificuldades na compreensão do fenómeno da cor [93]. Parece que, mesmo depois das explicações cientificamente corretas de Newton, no séc. XVII, sobre este fenómeno, os alunos continuam a revelar ideias semelhantes às defendidas há 1300 anos atrás por Aristóteles, ao considerarem a escuridão como um ingrediente da cor e esta como uma propriedade de um objeto [93].

As ideias apresentadas na Tabela 27 resultaram da análise de questionários ou de explicações verbais/diagramas realizados pelos estudantes no decurso de entrevistas em vários trabalhos de investigação. Após vários estudos realizados, tornou-se claro que estas ideias não são aleatórias, mas aparecem como modelos mentais, usados consistentemente em diferentes contextos [93].

Para além destas dificuldades, o ensino da cor apresenta outra, não menos importante: a compreensão do fenómeno da cor envolve aspetos físicos, psicológicos e fisiológicos [99, 100].

É seguramente verdade que o fenómeno da cor está relacionado com as características espectrais da radiação eletromagnética, na gama do visível, que atinge a retina [101, 102, 103]. Mas para compreender, mesmo ao nível mais elementar, a perceção da cor, é fundamental considerar a natureza da retina como recetor de luz. Esta contém três tipos de células, os cones, diferentemente sensíveis à distribuição espectral da radiação e classificados consoante o comprimento de onda aos quais têm sensibilidade máxima [104]. Esta abordagem, designa-se de *Young - Helmholtz three-receptor theory* e constitui o primeiro passo na compreensão deste conceito.

A Young - Helmholtz three-receptor theory explica de uma forma simples os fenómeno físico da cor.

A teoria supracitada tem em consideração a distribuição espectral da luz que chega aos olhos e alguns fatores fisiológicos, mas ignora a importância do contraste, do ambiente (iluminação) e de todos os processos de adaptação fisiológica e psicológica que neutralizam as mudanças físicas [105]. Apesar das limitações desta teoria, este modelo é amplamente utilizado quando se faz a introdução deste fenómeno porque explica, de uma forma simples, as principais características deste processo.

Paralelamente às dificuldades apresentadas e explicadas anteriormente, o ensino deste conceito confronta-se muitas vezes com o reforço não intencional das concepções alternativas durante a prática letiva. A título de exemplo, este reforço poderá ser resultado de uma linguagem menos cuidada por parte do professor ou da utilização das representações clássicas da síntese aditiva e subtrativa (Figura 24). Alguns investigadores consideram que estes esquemas podem confundir os alunos uma vez que é usado o mesmo tipo de representação/simbologia para processos diferentes [52, 106].

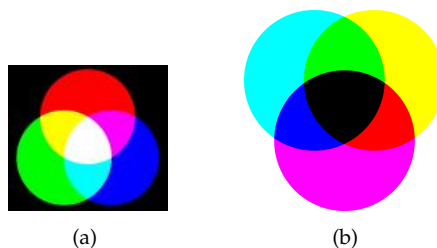


Figura 24: Esquemas da síntese aditiva (a) e subtrativa (b)

As principais recomendações de investigações anteriores remetem para um ensino da cor que incida numa análise comparativa e aprofundada das sínteses aditiva e subtrativa [52, 94, 106]. A cor de um objeto e a cor resultante de mistura de tintas e/ou luzes são partes de um mesmo fenómeno, que deve ser explicado por um único referencial teórico, apesar dos alunos trazerem consigo variadas e independentes explicações destes três processos. Assim, uma compreensão consolidada deste fenómeno necessita de uma compreensão total dos dois tipos de mistura, explicados por um único referencial teórico.

O objetivo deste módulo é providenciar um ensino racional e inteligível da cor, permitindo que os alunos reconsiderem os modelos mentais iniciais sobre este fenómeno e procedam à sua posterior (re)construção. Foram formulados dois objetivos essenciais:

- relacionar a cor percebida com as propriedades do objeto e da luz incidente e o nosso sistema fisiológico;
- substituir os modelos intuitivos de interpretação da cor (concepções alternativas) por um modelo único - *Tabuada das Cores* - capaz de explicar todos os restantes.

Para concretizar os propósitos anteriores, traçaram-se os seguintes objetivos específicos:

- *Verificar que a cor dos objetos muda consoante a luz que sobre eles incide ou o filtro sobre eles colocado, pelo que nem a luz nem os objetos têm cor;*
- *constatar que os objetos absorvem determinadas radiações e refletem outras;*
- *distinguir corpos luminosos de corpos iluminados;*
- *verificar que a cor de um corpo (iluminado) depende das radiações refletidas;*

Os esquemas presentes na Figura 24 são muito comuns em manuais escolares.

- *concluir que a cor dos objetos depende do material de que é feito esse mesmo objeto e da luz que sobre ele incide;*
- *saber que a retina é constituída por três tipos de cones com sensibilidade diferente para radiações de diferente tipo (frequência);*
- *saber que quando a luz ativa apenas um tipo de cones, tem-se a percepção de “vermelho”, “verde” ou “azul”;*
- *identificar o vermelho, verde e azul como as cores primárias por corresponderem à estimulação de um só tipo de cone;*
- *relacionar a percepção de outras cores como o resultado da estimulação simultânea de mais de um tipo de cone, ou seja da atividade de três tipos de células sensíveis;*
- *representar, para casos concretos, as radiações refletidas e absorvidas (através de cores primárias) de forma a traduzirem a cor percebida do objeto;*
- *relacionar o conceito de cor com a diferente estimulação dos três tipos de cones;*
- *reconhecer que o preto não é uma cor, pelo facto de resultar da ausência de radiação refletida e portanto da ausência da estimulação de qualquer um dos três tipos de cones;*
- *identificar o branco e o cinzento como o resultado da reflexão de todas as radiações, promovendo uma igual estimulação dos três tipos de cones;*
- *concluir que o preto, branco e cinzento não são cores;*
- *identificar as cores secundárias (amarelo, ciano e magenta), como a sobreposição (na mesma proporção) das cores primárias, duas a duas, promovendo igual estimulação de dois tipos de cones;*
- *associar a percepção de diferentes cores com a sobreposição de cores primárias em diferentes proporções promovendo diferentes estimulações dos três tipos de cones;*
- *deduzir, com base no modelo aditivo, as cores que contribuem para a formação das cores secundárias;*
- *verificar que a mistura aditiva é um processo de obter novas cores, ocorrendo a adição das cores iniciais;*
- *assumir o modelo aditivo como o modelo único na explicação da cor, sendo possível deduzir a mistura subtrativa a partir deste usando a Tabuada das Cores;*
- *reconhecer que a adição de filtros ou mistura de pigmentos é uma outra forma de obter novas cores, mas agora através da subtração das mesmas;*

- *associar a explicação do fenómeno da cor de objetos iluminados a um processo subtrativo, porque a cor resultante depende das cores que não são absorvidas mas refletidas;*
- *constatar que no processo subtrativo, as cores primárias são as secundárias do processo aditivo e vice-versa;*
- *prever a cor de um objeto usando diferentes condições de iluminação/filtros, tendo como base os modelos aditivo e subtrativo;*
- *nomear as cores primárias e secundárias dos modelos aditivos e subtrativos.*

11.2 TABUADA DAS CORES

Investigações anteriores no domínio da cor [93] confirmam uma conclusão sugerida por uma análise cuidadosa das concepções alternativas apresentadas na Tabela 27: estas concepções expressam modelos mentais de interpretação subjacentes que, apesar de internamente coerentes, não são cientificamente consistentes com uma gama alargada de observações sobre a cor.

A superação destes modelos exige a sua substituição por um modelo alternativo, cientificamente consistente, ainda que parcial, mas que seja simultaneamente plausível, e não ponha em jogo conceitos que não estão ao alcance dos estudantes do básico [65]. O modelo que propomos, a que chamamos *Tabuada das cores*, conjuga conceitos físicos de composição espectral da luz, reflexão, transmissão e absorção dependentes da composição espectral, e aspetos elementares da fisiologia da retina e do processamento da informação relativa à cor. Reúne num único referencial teórico/interpretativo as misturas aditivas e subtrativas, e baseia-se num número muito reduzido de factos de base. Antes de procedermos à categorização dos modelos mentais mais frequentes entre os alunos, vamos caracterizar a *Tabuada das Cores*. Convém notar que a discussão deste modelo constituiu uma parte importante da formação prévia dos docentes, e resultou numa clarificação evidente das suas próprias concepções sobre a cor [107].

Como foi mencionado anteriormente, de acordo com a *Young - Helmholtz three-receptor theory*, a retina contém milhares de cones (células apenas sensíveis à radiação visível), que podem ser classificados, de uma forma simplificada, em três tipos dependente do tipo de radiação (comprimento de onda) à qual são mais sensíveis. Quando a luz ativa apenas um destes três tipos de cones temos a percepção de “VERDE”,

Se a retina tivesse um sistema de deteção com cinco componentes, teríamos cinco cores primárias e a cor percebida seria a combinação de cinco sinais.

“AZUL” ou “VERMELHO”, dependendo do tipo de cone estimulado. Esta é a razão pela qual estas cores são chamadas de primárias.

A variedade de cores percebidas por nós não é mais do que a combinação destas três cores, noutras palavras, o resultado da diferente atividade de três tipos de células sensíveis. Podemos assim considerar a cor percebida como definida num espaço tridimensional de Vermelho, Verde e Azul, (r, g, b) , como, de facto, é o caso do modelo de cor RGB, em muitos sistemas de computadores [108].

A *Tabuada das Cores* reduz os possíveis valores de r , g , e b a 0 (ausência) ou 1 (presença), com a exceção do cinzento e respetivo *dégradé* como veremos adiante.

Aos alunos é apresentada uma tabela semelhante à da Figura 25, que explica como se adicionam luzes, isto é, a forma como duas cores primárias misturadas na mesma proporção são percebidas. Simultaneamente à Figura 25, os estudantes são ensinados que o preto é a ausência de estimulação de todos os cones ($r = 0$, $g = 0$, $b = 0$) e o branco corresponde à estimulação máxima e igual de todos os cones ($r = 1$, $g = 1$, $b = 1$). Alterando a quantidade de luz, na mesma proporção, obtemos todas as tonalidades de cinza entre branco e preto. Por outro lado, as três cores primárias, misturadas duas a duas e nas mesmas proporções, originam as três cores secundárias.

O facto do preto, branco e cinzento não serem considerados cores, deve-se ao próprio conceito de cor estar relacionado com a diferente excitação dos três tipos de cones (ou de pelo menos dois). Assim, o preto não é considerado cor porque, neste caso, nenhum dos cones é excitado. O branco e o cinzento não são cores porque ambos resultam da estimulação idêntica dos três cones, embora com intensidade total diferente.

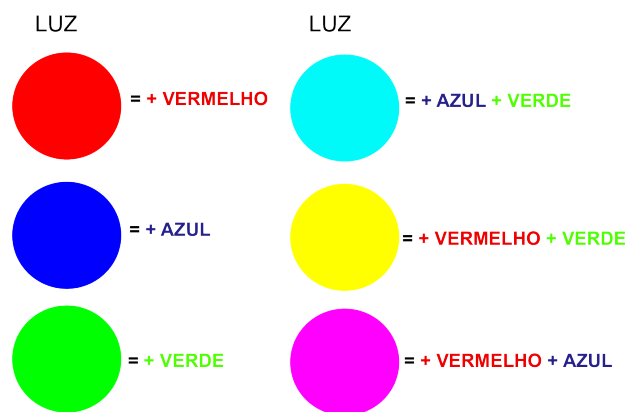


Figura 25: A *Tabuada das Cores* e a mistura aditiva

Estes simples conceitos e a Figura 25 fornecem as ferramentas necessárias para os estudantes descobrirem e explorarem o fenómeno da cor. Para obter outras cores, que não estão presentes neste modelo, teríamos

que considerar variações contínuas e independentes de intensidades de vermelho, verde e azul.

Os objetos e os filtros não emitem luz própria (não são fontes de luz visível) pelo que apenas podem absorver e, por consequência, refletir parte da luz que os ilumina. Somos assim convidados a usar o sinal menos (–) que indica a luz absorvida (subtraída). Assim, um filtro ciano (à luz natural) absorve vermelho (– VERMELHO) e um filtro verde absorve azul e vermelho (– AZUL – VERMELHO).

Note-se que os estudantes podem concluir as relações apresentadas na Figura 26 a partir da exploração da Figura 25.

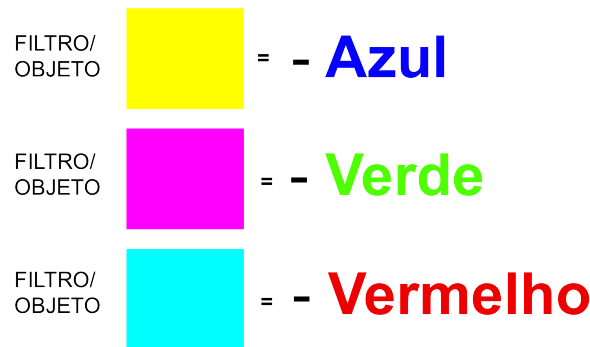


Figura 26: A Tabuada das Cores e a mistura subtrativa

A *Tabuada das Cores* serve de base à formulação do problema de determinação da cor percebida em diferentes circunstâncias, como uma equação que atribui o sinal mais (+) na presença de corpos luminosos e o sinal (–) na presença de corpos iluminados (objetos e filtros). Apenas cores primárias (vermelho, verde e azul) são utilizadas em todos os termos da equação, em concordância com os três tipos de cones característicos do sistema visual humano.

As clássicas representações circulares da mistura aditiva e subtrativa (Figura 24) podem ser agora construídas pelos próprios estudantes, concretizando uma importante ferramenta de pensamento. Esta atividade intelectual permite que os estudantes compreendam que as cores primárias na mistura aditiva são as secundárias na mistura subtrativa e vice-versa.

Igualmente importante é explorar estes dois tipos de mistura numa equação só, resolvendo assim problemas com diferentes graus de complexidade. Apresentam-se dois exemplos:

1. Como aparecerá um objeto verde (à luz natural) coberto por um filtro ciano e iluminado com luz amarela?

LUZ = + VERMELHO + VERDE

OBJETO = – VERMELHO – AZUL

FILTRO: – VERMELHO

COR = + VERMELHO + VERDE – VERMELHO – AZUL – VERMELHO = VERDE

A Tabuada das Cores explica o processo aditivo e subtrativo como pertencentes a um único modelo teórico.

2. Como aparecerá um objeto magenta (à luz natural) coberto por um filtro verde e iluminado com luz branca?

LUZ = + VERMELHO + VERDE + AZUL

OBJETO = – VERDE

FILTRO = – VERMELHO – AZUL

COR = + VERMELHO + VERDE + AZUL – VERDE – VERMELHO – AZUL = PRETO

A *Tabuada das Cores* é uma ferramenta pedagógica e científica que tem em consideração as dificuldades específicas dos alunos e clarifica, inequivocamente, a forma como a luz interage com o sistema visual. Embora simplificando o complexo fenómeno da percepção da cor, este modelo consegue captar os seus ingredientes essenciais sem sacrificar a coerência científica, de uma forma adequada ao nível de ensino a que é dirigida.

Com esta ferramenta, o conceito de cor torna-se naturalmente um fenómeno físico, psicológico e fisiológico. Os estudantes, construindo e resolvendo estas equações, tornam-se mais sensíveis à composição da luz incidente e compreendem como é que ela interage com a matéria, uma vez que a luz transmitida/refletida também pertence à equação. O resultado é a resposta do nosso sistema visual.

11.3 CATEGORIZAÇÃO DOS MODELOS MENTAIS

Uma análise detalhada das concepções alternativas apresentadas na Tabela 27 permitiu-nos categorizá-las em diferentes níveis qualitativos de compreensão e formular modelos de interpretação para cada categoria. As concepções alternativas relativas às sombras não foram consideradas porque se relacionavam também com falhas dos alunos acerca do fenómeno da propagação da luz.

A Tabela 28 apresenta as diferentes categorias e os respetivos modelos de interpretação. O modelo mental A representa o modelo cientificamente correto. Neste modelo:

- a cor percecionada está relacionada com as propriedades do objeto, da luz incidente e do sistema visual humano;
- a mistura aditiva e a mistura subtrativa são entendidas num único referencial físico teórico capaz de explicar o fenómeno da cor;
- os alunos identificam corretamente as condições de aplicação de cada uma das misturas no sentido de prever a cor percecionada.

A ordenação da Tabela 28 não é arbitrária; de E para B incorporamos um número crescente de características do modelo A. Esta categorização

Modelo	Descrição do modelo mental	
E	A cor é uma propriedade intrínseca do objeto por isso a cor de um objeto nunca muda;	A mistura de luzes segue as regras da mistura subtrativa.
D	A cor de um objeto e a cor resultante da mistura entre tintas/luzes são fenómenos distintos, pelo que são explicados por diferentes referenciais teóricos.	A mistura de luzes não segue as mesmas regras que a mistura subtrativa.
C	A cor não é uma propriedade intrínseca do objeto, por isso a cor de um objeto pode mudar consoante a luz incidente ou o(s) filtro(s) colocado(s).	A mistura de luzes segue as regras da mistura subtrativa.
B	A cor de um objeto e a cor resultante da mistura entre tintas/luzes são fenómenos distintos, pelo que são explicados por diferentes referenciais teóricos.	A mistura de luzes não segue as mesmas regras que a mistura subtrativa.
A	Sem conceções alternativas (modelo cientificamente correto)	

Tabela 28: Modelos mentais relativos ao fenómeno da cor

servirá de base a uma análise da evolução conceptual como resultado da lecionação do módulo *A Cor*.

Especificamente com este módulo pudemos abordar as seguintes questões de investigação:

- Uma instrução baseada no modelo *Tabuada das Cores* é mais eficiente no que respeita à promoção da mudança conceptual quando comparado com as estratégias de ensino convencionais?
- De que forma as conceções alternativas relativas ao fenómeno da cor se alteram como resultado do uso de uma instrução baseada no modelo da *Tabuada das Cores*?

11.4 IMPLEMENTAÇÃO

11.4.1 Procedimento

O modelo *Tabuada das Cores* fez parte de um módulo interativo destinado ao estudo do fenómeno da cor, desenvolvido para duas aulas, com componente teórica e laboratorial (num total de 180 min). A proposta

O material relativo a este módulo encontra-se no CD que acompanha a tese.

feita neste módulo foi a de, em primeiro lugar, mostrar aos alunos através de experiências não familiares com efeitos inesperados, os seguintes aspetos:

1. A cor dos objetos muda consoante a luz que sobre eles incide.
2. A luz não dá a sua cor ao objeto.
3. A cor dos objetos muda consoante o filtro que sobre eles é colocado.

Numa primeira fase, as preocupações estiveram voltadas para demonstrações feitas pelo professor (e mais tarde pelos alunos na atividade laboratorial) de forma aos alunos constatarem que a cor de um objeto não é uma propriedade deste, como é o tamanho, a forma ou material de que é feito, uma vez que muda consoante a luz que sobre ele incide ou o filtro sobre ele colocado. Pretendia-se que os alunos sentissem as limitações dos seus próprios modelos e, naturalmente, procurassem novos esquemas de conhecimento capazes de providenciar uma compreensão fundamentada e coerente do fenómeno.

Após os alunos reconhecerem por eles próprios que as suas previsões estavam incorretas e que os seus modelos mentais falhavam na explicação do fenómeno, é iniciado um processo de construção de um novo quadro conceptual orientado pelo professor.

Nesta fase, são introduzidas as diferenças entre corpos luminosos e iluminados incluindo a forma destes corpos interagirem com a matéria. A teoria *Young - Helmholtz three-receptor*, descrita anteriormente, é apresentada e explorada, à qual o professor acrescenta a informação de que a retina é constituída por bastonetes, responsáveis pela visão quando a luminosidade é baixa. Contrariamente aos cones, os bastonetes apenas são sensíveis à intensidade total resultando numa perceção desprovida de cores, apenas em tons de cinzento.

A utilização do dispositivo *color addition spotlights* [109], é importante para introduzir e explicar a mistura aditiva: ciano (azul + verde), amarelo (vermelho + verde) e magenta (azul + vermelho). O modelo *Tabuada das Cores* é lentamente introduzido, apresentando as duas misturas como parte integrante de um fenómeno só, explicado pelo mesmo referencial teórico.

A aula laboratorial foi dividida em quatro estações experimentais, cada uma com duração de 10 min. Os alunos foram divididos em grupos de três e percorriam estação a estação, realizando a parte experimental, ao mesmo tempo que respondiam a questões na ficha laboratorial.

A experimentação é um fator importante da prática letiva, porque os alunos precisavam de sentir sozinhos que os seus esquemas mentais

Os alunos realizaram experiências do dia-a-dia com luzes, lápis-de-cor, guaches e exploraram as sombras coloridas num ecrã branco [110].

eram incorretos e necessitavam de tempo para praticar e consolidar o novo modelo em diferentes ambientes. A alteração das ideias dos alunos é um processo demorado e gradual. É facilitado pela realização de um leque alargado de atividades, desenhadas para combater as conceções alternativas e promover a explicação cientificamente correta.

O material utilizado na aula laboratorial é extremamente simples e barato (à exceção do dispositivo *color addition spotlights* [109], utilizado para demonstrar a mistura aditiva), como podemos observar na Figura 27.

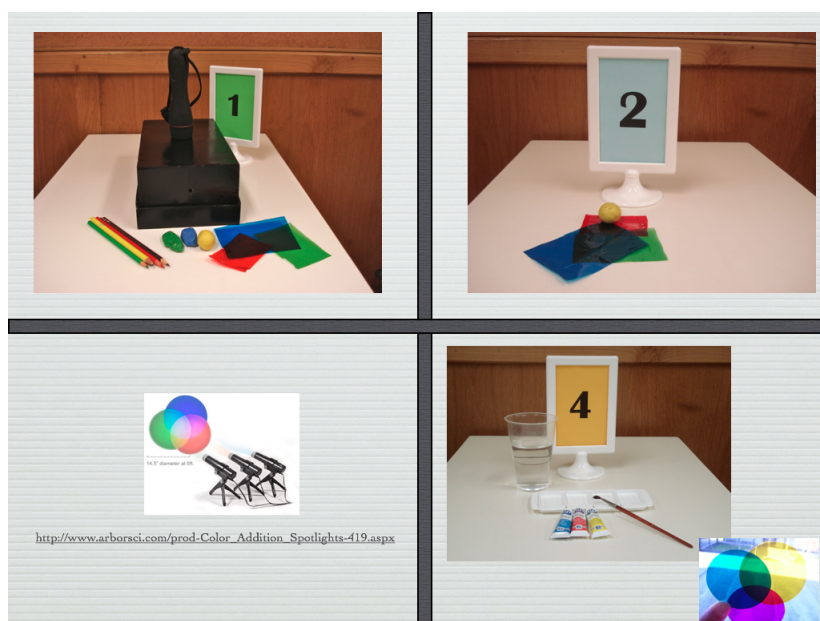


Figura 27: AL: “A cor, o que é afinal?”

Os alunos eram solicitados permanentemente a prever a cor percecionada, com a *Tabuada das Cores*, e confirmar o resultado posteriormente. Todas as estações experimentais foram concebidas num ciclo de previsão - experimentação - discussão, a fim de promover uma experimentação fundamentada e permitir o desenvolvimento de competências científicas [44, 111, 112].

Na estação experimental 1, os estudantes colocavam alternadamente plasticina azul, amarela e verde dentro de uma caixa preta (caixa de sapatos pintada de preto e selada) e incidiam luz vermelha e azul. Posteriormente, tinham que justificar as suas observações com esquemas baseados na luz incidente e na luz refletida com os lápis-de-cor adequados. No final da estação, os alunos eram convidados a prever a cor percecionada noutras situações, com diferentes luzes a incidir em diferentes objetos.

A Figura 28 mostra um excerto de uma resposta na estação experimental 2. Nesta estação, os alunos previam a cor percecionada após papel celofane, vermelho, verde e azul ser colocado alternadamente

FILTRO VERMELHO + PLASTICINA AMARELA:

$$+ \text{VERMELHO} + \cancel{\text{VERDE}} + \cancel{\text{AZUL}} - \underbrace{\cancel{\text{VERDE}} - \cancel{\text{AZUL}}}_{\text{FILTRO}} - \underbrace{\cancel{\text{AZUL}}}_{\text{PLASTICINA}} = \text{VERMELHO}$$

FILTRO VERDE + PLASTICINA AMARELA:

$$+ \cancel{\text{VERMELHO}} + \text{VERDE} + \cancel{\text{AZUL}} - \underbrace{\cancel{\text{AZUL}} - \cancel{\text{VERMELHO}}}_{\text{FILTRO}} - \underbrace{\cancel{\text{AZUL}}}_{\text{PLASTICINA}} = \text{VERDE}$$

FILTRO AZUL + PLASTICINA AMARELA:

$$+ \cancel{\text{VERMELHO}} + \cancel{\text{VERDE}} + \text{AZUL} - \underbrace{\cancel{\text{VERMELHO}} - \cancel{\text{VERDE}}}_{\text{FILTRO}} - \underbrace{\cancel{\text{AZUL}}}_{\text{PLASTICINA}} = \text{PRETO}$$

Figura 28: Excerto de uma resposta da estação experimental 2 (AL: “A cor, o que é afinal?”)

numa plasticina amarela. Posteriormente, as previsões eram verificadas por experimentação.

Relativamente à estação experimental 3, foram exploradas sombras coloridas num ecrã branco. O dispositivo *color addition spotlights* foi usado para descobrir diversas formas de sombras coloridas, possibilitando aos alunos a compreensão das condições da sua formação [110].

Na estação experimental 4, os alunos misturavam tintas (guaches) no sentido de explorar a mistura subtrativa. Na Figura 29 encontra-se a resposta à questão: “Justifica que a mistura de tinta amarela com tinta magenta resulta em tinta vermelha”.

$$+ \text{VERMELHO} + \cancel{\text{VERDE}} + \cancel{\text{AZUL}} - \cancel{\text{AZUL}} - \cancel{\text{VERDE}} = \text{VERMELHO}$$

Figura 29: Excerto de uma resposta da estação experimental 4 (AL: “A cor, o que é afinal?”)

Nesta estação, os alunos manipulavam filtros ciano, magenta e amarelo, fundamentando os resultados com a *Tabuada das Cores*. Por exemplo:

Que cor é percebida da junção de um filtro ciano com um filtro magenta à luz natural?

$$\text{LUZ} = + \text{VERMELHO} + \text{VERDE} + \text{AZUL}$$

$$\text{FILTRO CIANO} = - \text{VERMELHO}$$

$$\text{FILTRO MAGENTA} = - \text{VERDE}$$

$$\text{COR} = + \text{VERMELHO} + \text{VERDE} + \text{AZUL} - \text{VERMELHO} - \text{VERDE} = \text{AZUL}$$

11.4.2 Participantes

Quatrocentos e cinquenta e quatro alunos estiveram envolvidos neste estudo; duzentos e quatro do grupo de controlo e duzentos e cinquenta do grupo experimental. Apenas uma escola possui alunos de ambos os grupos, tal como podemos verificar na Tabela 29. No grupo experimental participaram oito professores.

	Escolas						Total
	IND	JML	S	FV	SCD	AH	
Grupo experimental	25	190	35				250
Grupo de controlo			80	50	54	20	204

Tabela 29: Número de alunos participantes no módulo *A cor*

11.5 AVALIAÇÃO

11.5.1 Pré/pós-teste

O pré/pós-teste sobre o módulo da cor foi elaborado tendo em consideração as conceções alternativas dos alunos já identificadas em estudos anteriores. Neste teste, as escolhas alternativas refletiam as ideias erradas mais comuns e significativas.

No sentido de garantir que as questões incluídas no teste não favoreciam o grupo experimental, alguns professores, não envolvidos no projeto, foram convidados a verificar se as questões eram adequadas às diretrizes curriculares [31].

A validação do questionário foi feita de duas maneiras. A primeira versão do teste foi revista por um painel de professores de Física: dois de ensino básico/secundário e três do ensino superior. Um teste piloto foi implementado a 28 alunos do 8.º ano, antes e após a implementação do módulo, para determinar se todos entenderam as perguntas e concordaram com as respostas corretas.

Na Tabela 30 encontra-se explicitamente a relação de cada resposta com as CA's.

11.5.2 Resultados

Professores

Durante a formação de professores, a complexidade do fenómeno da cor careceu de esclarecimentos por parte dos professores. Nenhum dos oito professores envolvidos no projeto explicou claramente por que

Ver Anexo A (pg. 215).

Concepções alternativas	Questões
A cor é uma propriedade de um objeto e é independente da luz incidente ou do(s) filtro(s) sobre ele colocado(s)	Q1a) Q1c) Q6e) Q4e)
As cores escuras tapam as cores claras.	Q1b)
A cor de um objeto resulta da mistura da sua própria cor com a da luz incidente.	Q1c)
A luz tem cor e dá a sua cor ao objeto.	Q1d)
A mistura de luzes segue as mesmas regras que a mistura de tintas.	Q2d) Q5b) Q5c) Q7b) Q7c)
O preto, o cinzento e o branco são cores.	Q3

Tabela 30: Identificação das concepções alternativas, nas diferentes questões, no módulo *A Cor*

motivo o preto, branco e cinzento não são considerados cores. Apesar da sua longa experiência (a maioria dos professores tinha mais de 15 anos de ensino), parece que na preparação do módulo tomaram conhecimento de uma nova compreensão do conceito de cor e, posteriormente, tornaram-se mais sensíveis à importância de uma nova abordagem de ensino.

A sistematização das ideias pré-ensino acerca do fenómeno da cor (Tabela 28) foi considerada de grande utilidade. Embora os professores já tivessem conhecimento da existência dessas ideias nos alunos, não as reconheciam como indicadores de um modelo mental coerente e consistente e não tinham a percepção de que continuavam, mesmo após a instrução formal.

O modelo *Tabuada das Cores* foi considerado pelos professores como simples e eficiente para esclarecer as diferenças entre as misturas aditiva e subtrativa. De acordo com os professores, as equações formuladas e resolvidas pelos alunos consistiram num excelente exercício analítico e tornaram o fenómeno da cor mais fácil de entender. Por outro lado, consideraram muito importante a aula laboratorial, porque permitiu a realização simultânea de uma grande diversidade de experiências relativas aos dois tipos de mistura.

Todos os professores reportaram uma invulgar motivação por alunos normalmente desinteressados (alguns dos quais academicamente com pouco sucesso), o que propiciou numa melhoria significativa no teste de avaliação posterior.

Alunos

A informação relativa à avaliação deste módulo está sintetizada na Tabela 31.

	Pré-teste			Pós-teste			Diferença
	M ¹	DP ²	p-value ³	M ¹	DP ²	p-value ³	p-value ⁴
Grupo experimental	2.26	1.207	0.251	5.33	1.554	0.000*	0.000*
Grupo de controlo	2.12	1.164		3.30	1.766		0.000*

(1) Média (2) Desvio Padrão (3) Teste de Mann-Whitney U (4) Teste de Wilcoxon

* Diferenças estatisticamente significativas para um nível de significância de 0.05

Tabela 31: Resultados estatísticos relativos ao módulo *A Cor*

Os resultados dos pré-testes corroboraram estudos anteriores no que respeita à existência de concepções alternativas neste campo da ótica. As frequências de cada questão são bastante semelhantes nos dois grupos, como podemos verificar na Tabela 32. A negrito encontra-se a resposta correta para cada questão.

Uma análise direcionada exclusivamente aos pré-testes deixa transparecer os seguintes pontos.

- Na questão 1 (Q1), para a maioria dos alunos de ambos os grupos, quando uma planta verde (à luz natural) é colocada num quarto escuro e uma luz vermelha incide sobre ela, a cor da luz mistura-se com a cor da planta, fazendo com que esta mude de cor.
- Na questão 2 (Q2), uma questão de controlo, a resposta correta foi selecionada pela maioria dos estudantes. Note-se que a resposta estava visível no início do questionário.
- As respostas à questão 3 (Q3) mostram que os alunos não sabem que o preto, o branco e o cinzento não são consideradas cores. “o” significa que o preto, o cinzento e branco não foram cores escolhidas, “1” significa que uma das três foi escolhida, “2” significa duas escolhidas e “3” significa as três escolhidas.
- Na questão 4 (Q4), os alunos revelaram novamente concepções alternativas ao assumirem que um objeto amarelo (à luz natural) não pode ficar preto quando sobre ele incide uma luz, independentemente da sua natureza. Este resultado sugere que, para a maioria dos alunos, em ambos os grupos, a cor é uma propriedade intrínseca do objeto, por isso nunca muda.
- Na questão 5 (Q5), há duas respostas favoritas: b) e e). A escolha da alínea b) pode ser explicada por uma interpretação da sombra

		Pré-teste		Pós-teste	
		Controlo	Experimental	Controlo	Experimental
Questão 1	a)	19.2	12.1	4.9	2.0
	b)	12.3	10.9	9.9	2.8
	c)	39.9	50.6	30.0	15.6
	d)	9.34	13.4	3.4	5.2
	e)	19.2	13.0	51.7	74.4
Respostas válidas*		203	247	203	250
Questão 2	a)	3.5	4.0	0.5	0.4
	b)	4.0	0.8	0.5	0.4
	c)	63.0	72.4	81.3	96.4
	d)	14.0	16.0	2.5	0.8
	e)	15.5	6.8	15.3	2.0
Respostas válidas*		200	250	203	250
Questão 3	0	11.7	6.2	25.2	68.7
	1	26.5	26.6	31.7	14.9
	2	53.1	53.5	38.1	14.5
	3	8.7	13.7	5.0	2.0
Respostas válidas*		196	241	202	249
Questão 4	a)	9.0	4.9	14.5	6.9
	b)	9.5	3.7	5.5	3.2
	c)	9.5	12.2	46.5	78.5
	d)	6.5	6.1	7.5	2.4
	e)	65.3	73.1	26.0	8.9
Respostas válidas*		199	245	200	247
Questão 5	a)	4.0	3.7	5.4	0.4
	b)	41.3	46.3	27.1	11.3
	c)	10.0	8.1	8.4	1.6
	d)	7.5	4.1	3.0	0.4
	e)	37.3	37.8	56.2	86.3
Respostas válidas*		201	246	203	248
Questão 6	a)	7.9	2.8	7.4	2.4
	b)	37.9	51.6	30.9	57.1
	c)	13.8	9.7	16.7	11.3
	d)	5.9	2.4	6.9	0.8
	e)	25.1	28.6	33.3	20.6
	f)	9.4	4.8	4.9	7.7
Respostas válidas*		203	248	204	247
Questão 7	a)	36.1	35.2	41.3	74.6
	b)	38.6	34.0	25.4	17.7
	c)	15.8	19.4	13.9	2.0
	d)	9.4	11.3	19.4	5.6
Respostas válidas*		202	247	201	248

* As percentagens apresentadas foram calculadas considerando apenas as respostas válidas.

Tabela 32: Frequências de respostas dos pré/pós-testes, por questão, em %, no módulo *A cor*

em termos de mistura subtrativa. A escolha da opção e) pode corresponder a uma correta interpretação ou pode ter sido escolhida por estudantes que acreditam que não há sombras coloridas.

- A maioria dos alunos respondeu corretamente à questão 6 (Q6), uma vez que defenderam que a baixa intensidades luminosas, o nosso sistema visual não permite perceber a cor. Curiosamente, aproximadamente um quarto dos alunos em ambos os grupos pensam que a cor é uma propriedade própria de um objeto - opção e).
- Na questão 7, os alunos mostraram novamente confusão entre misturar luzes e tintas; 54.4% dos estudantes no grupo de controlo e 53.4% no grupo experimental pensam que misturar luzes segue as mesmas regras do que misturar tintas.

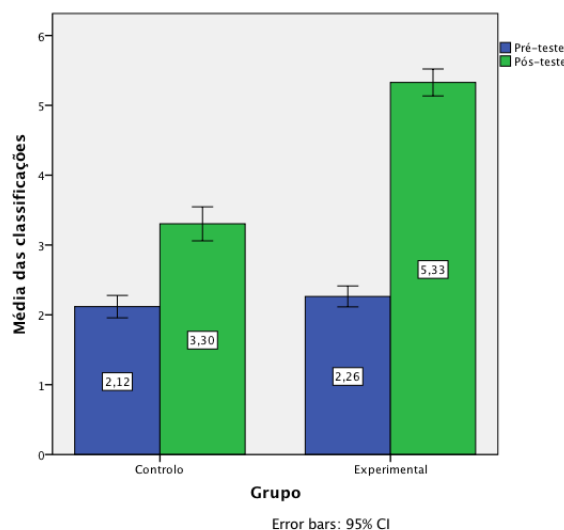


Figura 30: Média das classificações, em ambos os grupos, antes e após a instrução no módulo *A cor*

A média das classificações no pré-teste foram muito próximas nos dois grupos; 2.26 ($DP = 1.207$) no grupo experimental e 2.12 ($DP = 1.164$) no grupo de controlo. Foi testada a hipótese nula, H_0 , que a mediana das classificações era igual; o p -value foi 0.251, pelo que H_0 não pode ser rejeitada com o usual 95% nível de confiança. Assim, conclui-se que os resultados dos pré-testes nos dois grupos não são significativamente diferentes.

Os resultados presentes na Figura 30, mostram uma melhoria do pré para o pós-teste em ambos os grupos, claramente maior no grupo experimental. A média do pós-teste no grupo experimental ($M = 5.33$, $DP = 1.554$) é consideravelmente superior à do grupo de controlo ($M = 3.30$, $DP = 1.766$). Quando comparadas estas duas classificações, o teste *Mann-Whitney U* apresenta p -value = 0.000; podemos concluir com um grau de confiança de 95% que a mediana no grupo experimental é significativamente superior à do grupo de controlo.

Em ambos os grupos, a melhoria entre o pré e o pós-teste foi significativa, de acordo com o teste *Wilcoxon* (p -value = 0.000 em ambos os casos). O ganho normalizado do grupo experimental foi de 64.8% contra 24.2% do grupo de controlo.

Através de uma análise emparelhada, pode-se concluir que a percentagem de alunos que subiu do pré para o pós-teste foi de 90.4% no grupo experimental e 64.2% no grupo de controlo. No grupo experimental 3.2% dos alunos desceu do pré para o pós-teste e no caso do grupo de controlo esse valor está nos 19.6%. A Figura 31 ilustra, de outro modo, estes resultados.

Foi igualmente analisada individualmente cada questão (Tabela 33). O grupo experimental teve melhores resultados em todas as questões. É surpreendente que na questão 6 (Q6), o grupo de controlo teve piores

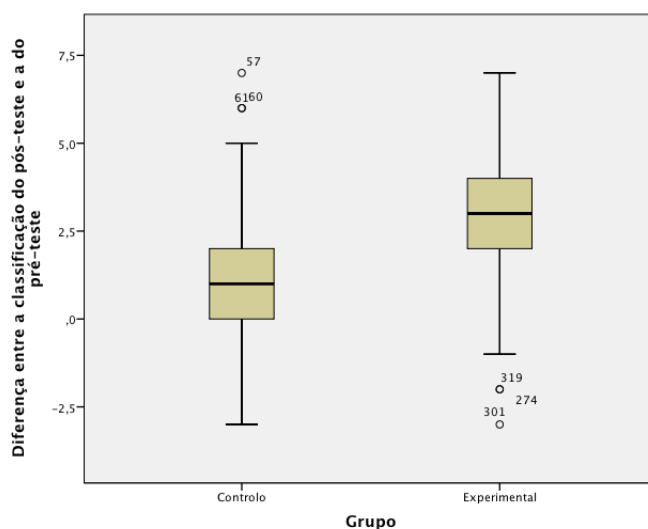


Figura 31: Diferença entre o pós e o pré-teste (por aluno) no módulo *A cor*

	Questões						
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7
Grupo experimental	70.6	87.0	66.4	74.5	77.1	10.7	60.1
Grupo de controlo	40.1	50.0	15.4	40.0	30.2	-10.9	7.6

Tabela 33: Ganho normalizado, por questão, no módulo *A cor*

resultados no pós-teste, o que significa que os alunos provavelmente desaprenderam após a instrução. No grupo experimental, em todas as questões à exceção da 6, os alunos tiveram classificações significativamente melhores no pós-teste. No grupo de controlo, Q7 não registou melhorias significativas e em Q6 a descida não foi significativa.

O questionário tinha sete questões e a correção consistiu em atribuir um ponto a cada questão correta e zero no caso de estar incorreta. A máxima classificação é assim de sete pontos. No grupo de controlo, 11.3% dos alunos teve uma classificação positiva no pré-teste, que subiu para 42.6% no pós-teste. No grupo experimental, a subida foi maior, de 15.2% para 86.4%. Cada questão foi cotada por um ponto pelo que uma média positiva implicava mais do que 3 questões corretas.

Foram igualmente analisados os resultados entre escolas. Como podemos ver na Figura 32, há diferenças significativas entre as mesmas. No grupo experimental, a maior diferença registou-se na escola S. Nesta escola, a aplicação do módulo decorreu no primeiro período, ao passo que nas restantes decorreu no meio e no fim do ano. Este aspeto pode ter contribuído para a diferença nos resultados.

Neste módulo foi também possível a análise da evolução do modelo concetual de cada um dos alunos. No sentido de obter um conhecimento aprofundado da compreensão dos alunos acerca deste tópico, cada

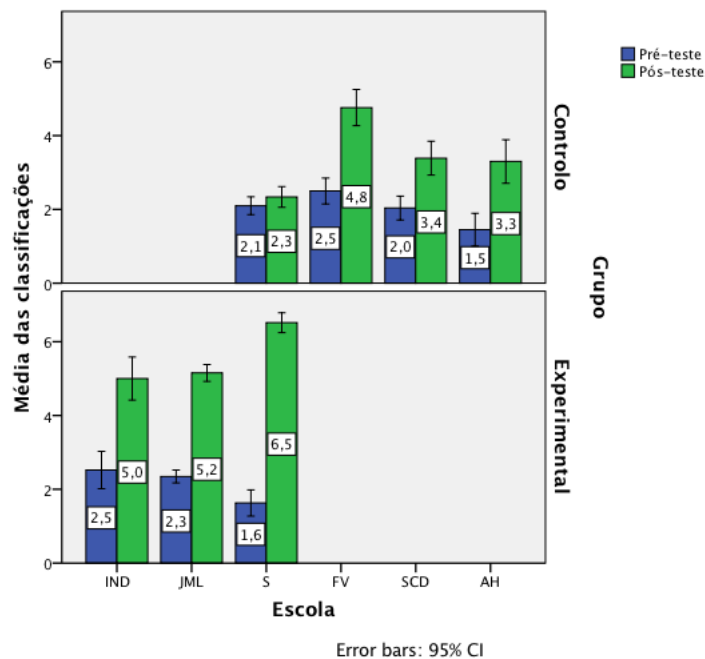


Figura 32: Resultados das escolas no módulo *A cor*

questionário foi classificado em cinco categorias qualitativas, ou seja, cinco possíveis modelos mentais, de acordo com a Tabela 28.

As questões Q2, Q3 e Q6 não foram consideradas nesta classificação. Q2 é uma questão de controlo, pelo que nenhuma conclusão podem ser retiradas, Q3 está relacionada com o facto do preto, branco e cinzento não serem consideradas cores e Q6 refere-se à incapacidade do nosso sistema visual ter a perceção de cor a baixas intensidades.

Estudantes que reponderam corretamente às questões Q1, Q4, Q5 e Q7, pertencem ao grupo do modelo mental A. Respostas Q1a) e Q4e) são encaminhadas para o modelo mental D e E, mas Q7a) ou Q7d) correspondem ao modelo D, enquanto Q7b) ou Q7c) ao modelo E. Estudantes no modelo B ou C reconhecem que a cor não é uma propriedade intrínseca de um objeto, mas enquanto os alunos do grupo do modelo C assumem que a mistura de luzes e tintas segue as mesmas regras, os do modelo B reconhecem diferentes regras para as duas misturas. Assim, as respostas Q7b) ou Q7c) correspondem ao modelo mental C, e as respostas Q7a) ou Q7d) ao modelo mental B.

De acordo com a Tabela 34, praticamente todos os estudantes mostraram, nos pré-testes, que a sua compreensão do fenómeno se situava num nível elementar. O modelo C foi o mais popular em ambos os grupos.

Note-se que o número de estudantes em cada nível (A, B, C, D e E) está alinhado horizontalmente nos pós-testes e verticalmente nos pré-testes, para ambos os grupos. A informação na diagonal indica os alunos que não registaram alterações no seu modelo mental. A

Pré-teste			Pós-teste					
			A	B	C	D	E	
Grupo experimental (N =231)	A	1	113	71	45	2	0	
			1	0	0	0	0	
			94	49	28	17	0	0
			115	50	38	25	2	0
			10	7	1	2	0	0
E	11	6	4	1	0	0		
Grupo de controlo (N=187)	A	1	31	77	73	4	2	
			0	1	0	0	0	
			64	11	27	23	2	1
			90	9	39	39	2	1
			17	10	3	4	0	0
E	15	1	7	7	0	0		

Tabela 34: Modelos mentais dos alunos e sua evolução no módulo *A Cor*

informação por baixo da diagonal e a negrito significa os estudantes que apresentaram melhorias no seu modelo conceptual. De um total de 454 estudantes, 36 não foram identificados por nenhum dos modelos porque os seus pré/pós-testes incluíam contradições.

Do pré para o pós-teste verifica-se que a grande maioria dos alunos, em ambos os grupos, experimentou uma reconhecida progressão nos seus modelos mentais. Contudo, a intervenção parece ter sido bastante mais efetiva no grupo experimental. Assim, 48.7% dos estudantes no grupo de controlo, melhoraram o seu nível de compreensão, 35.3% permaneceram com o mesmo modelo mental e 16.0% regrediram. No grupo experimental, 68.4% registaram melhorias no modelo mental, 23.4% permaneceram no mesmo modelo e 8.2% regrediram. Estes resultados vêm de encontro às conclusões obtidas anteriormente.

A Tabela 34 deixa antever outra importante conclusão: no final da leção do módulo, 48.9% dos estudantes do grupo experimental possuíam o modelo mental correto, enquanto que no grupo de controlo esse valor foi de apenas 16.6%.

11.6 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Uma análise estatística mais detalhada mostra que as diferenças entre os grupos, antes da instrução, são aleatórias (não são estatisticamente

significativas). Mas, acima de tudo, os pré-testes mostram que os alunos não sabem os princípios fundamentais do fenômeno da cor e possuem ideias erradas e consistentes, antes de qualquer ensino formal sobre o assunto.

Este módulo teve dois objetivos; promover a mudança conceptual e um ganho efetivo de conhecimento científico acerca deste fenômeno. A comparação das notas dos alunos mostra que os alunos envolvidos neste programa tiveram significativamente melhores resultados do que os estudantes do grupo de controlo. Ambas as instruções foram capazes de melhorar a compreensão dos alunos acerca do fenômeno da cor, mas os resultados sugerem que o modelo *Tabuada das Cores*, inserido num ambiente de ensino interativo, é mais eficaz na promoção da mudança conceptual do que o ensino tradicional. Assim, 48.9% dos estudantes no grupo experimental foram capazes de aprender o modelo correto durante a intervenção, enquanto que no grupo controlo apenas 16.6% o fizeram. Além disso, 48.7% dos estudantes do grupo de controlo apresentaram melhorias no modelo mental, ao passo que no grupo experimental essa percentagem foi de 68.4%.

Os resultados estatísticos favoráveis foram corroborados pela opinião dos professores envolvidos no projeto. Obviamente, muitos componentes da intervenção pedagógica podem ter afetado o resultado observado, como, por exemplo, a motivação dos professores envolvidos no projeto, ou a existência de aulas laboratoriais. Não se pode afirmar que o modelo *Tabuada das Cores*, por si só, seja responsável pelo sucesso do programa, mesmo sabendo que este foi construído em torno deste modelo. Separar esses vários efeitos é bastante difícil, devido à sua interdependência óbvia. Contudo, não era esse o propósito desta investigação, era sim verificar a eficácia deste modelo mental e sua implementação como um todo.

TERRA E SISTEMA SOLAR

12.1 PREPARAÇÃO

O módulo *Terra e Sistema Solar* é o primeiro de dois módulos da unidade *Planeta Terra*, lecionada habitualmente no 7.º ano. Na Tabela 35 apresentam-se as conceções alternativas dos alunos, resultantes de uma análise da literatura existente sobre esta temática [60, 86].

1. As estrelas aparecem no céu, na mesma posição, todas as noites.
2. O Sol encontra-se sempre a Sul às 12h.
3. As estações do ano ocorrem devido à distância da Terra ao Sol. Assim, é verão quando a Terra está mais próxima e inverno quando está mais afastada.
4. A Lua só pode ser vista à noite.
5. A Lua possui movimento de translação à volta do Sol, mas não possui rotação, isto é, ela não roda em torno de si própria.
6. As fases da Lua ocorrem devido às diferentes sombras na sua superfície causadas por outros objetos do sistema solar.
7. As fases da Lua ocorrem devido à sombra da Terra.
8. As fases da Lua são causadas pelo movimento da Lua na sombra do Sol.
9. A Terra é maior do que o Sol e a Lua é maior do que as estrelas.
10. A Terra é plana.
11. A Terra encontra-se parada e o Sol roda em torno dela.
12. A temperatura num determinado ponto da Terra só depende da distância desta ao Sol.
13. A Lua brilha à noite porque emite luz, tal como o Sol.
14. No mesmo dia e em diferentes partes do globo, vemos as mesmas fases da Lua.

Tabela 35: Conceções alternativas dos alunos relativamente à dinâmica do planeta Terra

Estudos revelam que os alunos têm dificuldade em relacionar as posições ocupadas pelo Sol ao longo do dia com os pontos cardeais e a altura máxima atingida pelo Sol com as estações do ano [60]. Osborne alerta para a necessidade do professor promover debates alargados

sobre estes tópicos inerentes ao domínio da Astronomia, a fim de tomar consciência dos modelos mentais dos seus alunos. Este autor aconselha o professor a construir e desenvolver a aula recorrendo, sempre que possível, a simulações em que os alunos são os próprios intervenientes; isto é, na opinião deste autor, é necessário usar os alunos como atores das suas próprias simulações [60].

Uma análise aos manuais escolares, deixa transparecer uma abordagem superficial desta temática. Destacam-se, por exemplo, a ausência do estudo de tópicos importantes como o movimento de precessão efetuado pela Terra, um estudo mais aprofundado de sombras (umbra e penumbra) ou a distinção entre um eclipse total ou parcial.

Neste projeto delinearam-se os seguintes objetivos:

a) Movimentos da Terra

- *Identificar a Terra e a Lua como astros com um formato aproximadamente esférico;*
- *comparar qualitativamente as distâncias a que habitantes de diferentes pontos da Terra se encontram relativamente ao centro desta, relacionando-as com o facto da Terra ser ligeiramente achatada nos polos;*
- *simular os movimentos de rotação, translação e precessão da Terra;*
- *saber o período de rotação e o período de translação da Terra;*
- *explicar a existência de anos bissextos com base no período de translação da Terra;*
- *identificar os pontos cardeais em situações reais.*

b) Movimento de rotação da Terra e suas consequências

- *Relacionar o movimento de rotação da Terra com a sucessão dos dias e das noites;*
- *relacionar o movimento de rotação da Terra com a variação da temperatura ao longo do dia;*
- *explicar a sucessão dos dias e das noites com base no movimento de rotação da Terra e na sua opacidade;*
- *prever, para uma situação concreta, os locais da Terra que se aproximam de um “nascer do Sol” e do “pôr-do-Sol”;*
- *calcular as horas em países distintos, tendo como referência a hora de um país, recorrendo a um mapa de fusos horários;*

- relacionar a posição do Sol ao longo do dia com os pontos cardeais;
- identificar o movimento aparente das estrelas com o movimento aparente do Sol;
- explicar o movimento aparente das estrelas;
- saber que a sombra resulta da obstrução da passagem da luz por um obstáculo opaco;
- prever qualitativamente o comprimento da sombra ao longo do dia;
- identificar o meio-dia solar como a altura do dia em que a sombra é mínima, sendo praticamente nula numa região do Equador;
- relacionar o tamanho da sombra com a distância do objeto à fonte de luz;
- construir representações gráficas da formação de sombras, envolvendo a fonte de luz, o objeto e o plano onde se forma a sombra;
- compreender e identificar as zonas de umbra e penumbra na sombra.

c) Movimento de translação da Terra e suas consequências

- Identificar a inclinação dos raios solares com o ângulo formado entre estes e a perpendicular à área de incidência;
- relacionar qualitativamente o grau de inclinação dos raios solares com a área iluminada (energia por unidade de área);
- colocar, corretamente, o eixo de rotação da Terra relativamente ao plano da órbita;
- relacionar qualitativamente o grau de inclinação dos raios solares com a energia por unidade de área e, consequentemente, com a estação do ano correspondente;
- simular as estações do ano no planeta Terra, bem como a inclinação dos raios solares nestas estações;
- reconhecer que não existiriam estações do ano na Terra se o seu eixo de rotação fosse perpendicular ao plano da órbita;
- associar qualitativamente as estações do ano com a duração do dia;
- comparar a altura máxima atingida pelo Sol com as estações do ano correspondentes e com a região do planeta considerada;
- saber que quanto mais distante um planeta está do Sol, menor é a sua velocidade à volta deste;

- relacionar os solstícios e equinócios com as estações do ano.

d) Lua: movimentos e fases

- Saber o nome do astronauta que pisou, pela primeira vez, a superfície lunar;
- identificar a Lua como um astro que não tem atmosfera;
- associar o facto de se ver, na Terra, sempre a mesma face da Lua com o facto desta ter um período de rotação e translação iguais;
- simular o período de rotação e translação da Lua simultaneamente;
- identificar a Lua como um corpo iluminado, que reflete a luz proveniente do Sol;
- identificar as fases da Lua com a parte da metade iluminada da Lua que é visível da Terra;
- identificar as fases da Lua como uma consequência do movimento de translação deste astro;
- esboçar e identificar as fases da Lua em situações concretas (com observadores dentro e fora da Terra);
- indicar a ordem das fases da Lua;
- saber que a ordem das fases da Lua é igual para um habitante do hemisfério Norte e Sul.

e) Eclipses do Sol e da Lua

- Simular um eclipse solar;
- simular um eclipse lunar;
- construir representações gráficas de formação de eclipses solares e lunares;
- identificar as zonas de umbra e penumbra nas construções gráficas dos dois tipos de eclipses;
- identificar, em situações concretas, o tipo de eclipse (total ou parcial).

12.2 IMPLEMENTAÇÃO

12.2.1 Procedimento

O módulo *Terra e Sistema Solar* é constituído por quatro aulas, cada uma com a duração de 90 min. Todas as aulas têm componente teórica e laboratorial, distribuídas segundo a Tabela 36.

Em todas as aulas houve a preocupação dos alunos registarem várias informações nos respetivos cadernos. Muitos dos registos consistiram em fotocópias de tamanho reduzido (A₅) que os alunos colavam nos cadernos/*dossiers*. A opção da colagem esteve relacionada com a rentabilização do tempo da aula, uma vez que alguns registos consistiam em esquemas/diagramas trabalhosos. A necessidade de colar estes esquemas/informações no caderno é também explicada pela maior organização que este sistema permite.

O material relativo a este módulo encontra-se no CD que acompanha a tese.

Aula	Conteúdos	Atividade laboratorial
1	Movimento de rotação, translação e precessão da Terra Consequências do movimento de rotação da Terra: - Sucessão dos dias e das noites - Fusos horários - Variação da temperatura ao longo do dia - Movimento aparente das estrelas	“Que horas são em Paris?”
2	Estudo da variação do comprimento da sombra de um corpo, à superfície da Terra, ao longo do dia	“Onde está o Norte?”
3	Estações do ano: - Inclinação do eixo de rotação da Terra - Variação da inclinação dos raios ao longo do ano	“Aqui é Primavera. Além é Verão.”
4	Período de rotação e translação da Lua Fases da Lua Eclipses do Sol e da Lua	“A Lua é mentirosa?”

Tabela 36: Distribuição das aulas no módulo *Terra e Sistema Solar*

Todas as aulas deste módulo apoiaram-se fortemente em demonstrações feitas por alunos e professor com materiais do dia-a-dia. Na primeira aula, os alunos eram convidados a compreender e simular os movimentos de rotação, translação e precessão da Terra. A opção de incluir o movimento de precessão, ausente nos manuais escolares, esteve relacionada com a sua importância para a compreensão da variação das constelações visíveis ao longo dos tempos. Na aula teórica, os alunos tinham à sua disposição globos terrestres de tamanho reduzido (um

por cada dois alunos), a fim de todos os elementos da turma poderem acompanhar as simulações.

As consequências do movimento de rotação: a sucessão dos dias e das noites, os fusos horários, a variação da temperatura ao longo do dia e o movimento aparente das estrelas foram igualmente discutidas, recorrendo a demonstrações.

A AL: *“Que horas são em Paris?”* (Figura 33) ajudou os alunos a consolidar os conteúdos abordados na aula teórica. As tarefas eram muito simples e rápidas, uma vez que esta era a primeira aula laboratorial. Na estação experimental 1, os alunos tinham um globo terrestre com alguns países assinalados por bandeiras e o retroprojetor a representar o Sol. O objetivo era indicar o país onde iria ocorrer o pôr-do-sol mais cedo, bem como o nascer do sol. Na estação experimental 2, os alunos simulavam os três movimentos executados pela Terra: translação, precessão e rotação. A avaliação desta estação era feita na própria aula, pelo docente. A estação experimental 3 abordava os fusos horários: os alunos com um mapa de fusos horários e o globo terrestre tinham como missão prever as horas em alguns locais do planeta. A estação experimental 4 incidia sobre pontos cardeais e fusos horários.



Figura 33: AL: *“Que horas são em Paris?”*

A segunda aula foi dedicada ao movimento aparente das estrelas, aos pontos cardeais e ao estudo de sombras. A AL: *“Onde está o Norte?”*, ilustrada na Figura 34, tinha quatro estações experimentais. Na estação experimental 1, os alunos estudavam a variação do comprimento da sombra ao longo do dia e a sua relação com os pontos cardeais. Na

estação 2, procediam à construção geométrica da sombra, representando e identificando as zonas de umbra e penumbra.

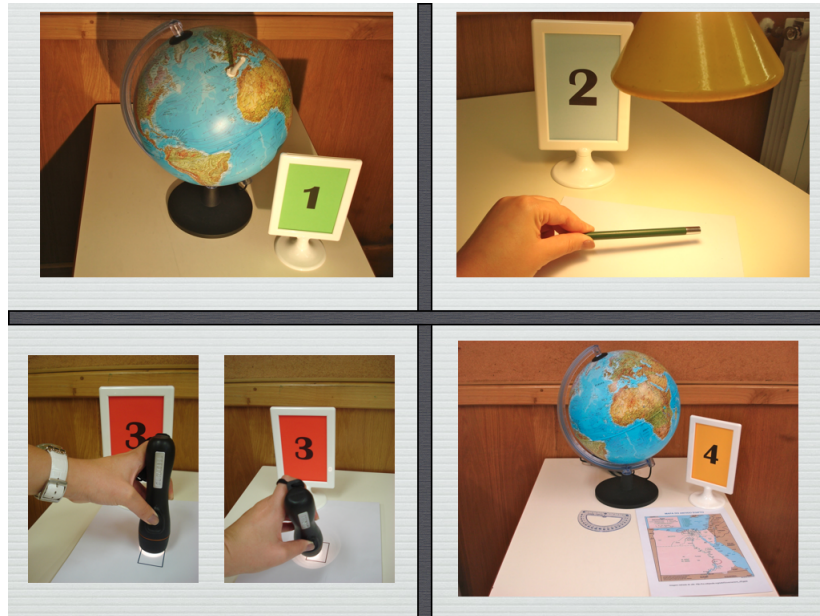


Figura 34: AL: “Onde está o Norte?”

A estação experimental 3 funcionou como uma estação de preparação para a aula teórica seguinte, onde seria discutida a relação entre a inclinação dos raios solares e as estações do ano. Os alunos tinham de iluminar um retângulo desenhado numa cartolina, com duas inclinações diferentes. O objetivo era que os alunos refletissem sobre os seguintes tópicos:

- A área iluminada nos dois casos é a mesma?
- Em que situação o quadrado recebe mais energia?
- Em que situação a energia recebida pela cartolina é maior?
- Em que situação é maior a inclinação dos raios solares?

A estação experimental 4 relacionava-se com a experiência clássica da determinação do raio da Terra por Eratóstenes. Esta estação era a mais exigente e incluía um texto informativo sobre a experiência e, posteriormente, um conjunto de perguntas sobre a inclinação de raios solares e a formação de sombras. Todas as perguntas estavam relacionadas com a experiência referida anteriormente.

A terceira aula deste módulo foi inteiramente dedicada à compreensão do conceito de inclinação dos raios solares e das estações do ano. A AL: “*Aqui é Primavera. Além é Verão.*” (Figura 35) era constituída apenas por duas estações experimentais de 15 min cada. Os alunos eram convidados, na primeira estação, a simular as estações do ano, tendo em consideração o eixo de rotação da Terra e a sua distância

relativa ao Sol nas quatro situações. Na segunda estação, os alunos interpretavam um texto e procediam a simulações relativas às estações do ano em Urano.

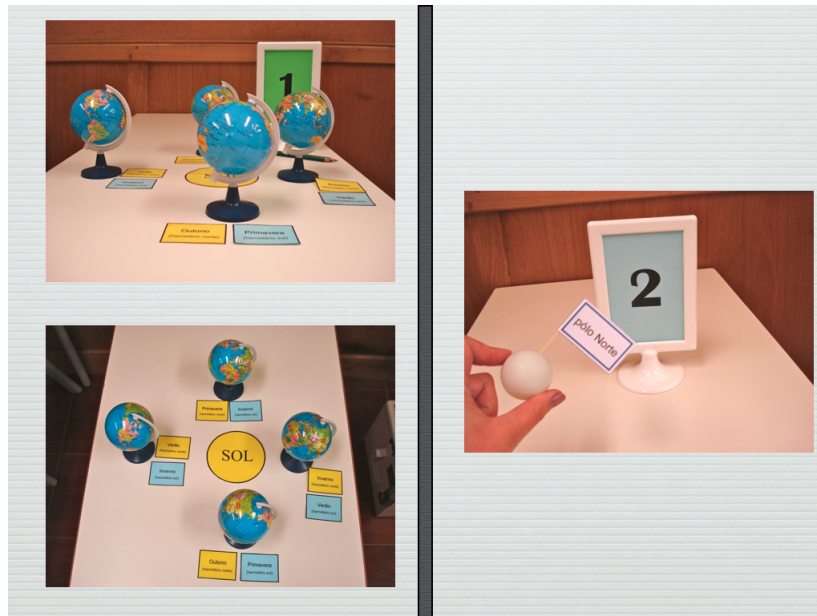


Figura 35: AL: “Aqui é Primavera. Além é Verão”

A última aula foi dedicada à Lua. Após a leitura de um texto relativo à chegada do homem à Lua, em 1969, o professor explorou os movimento de rotação e translação da Lua bem como as suas fases nos dois hemisférios. Os conceitos de eclipses totais e parciais da Terra e da Lua foram igualmente explorados com simulações na sala de aula envolvendo alunos e professor. A AL: “*A Lua é mentirosa?*” está inteiramente relacionada com simulações realizadas pelos alunos das fases da Lua nos dois hemisférios e eclipses totais e parciais do Sol e da Lua, tal como podemos ver na Figura 36.

12.2.2 Participantes

A Tabela 37 apresenta o número de alunos participantes no módulo *Terra e Sistema Solar*: 203 no grupo de controlo e 150 no grupo experimental. Cinco professores, distribuídos por três escolas, constituíram o núcleo experimental.

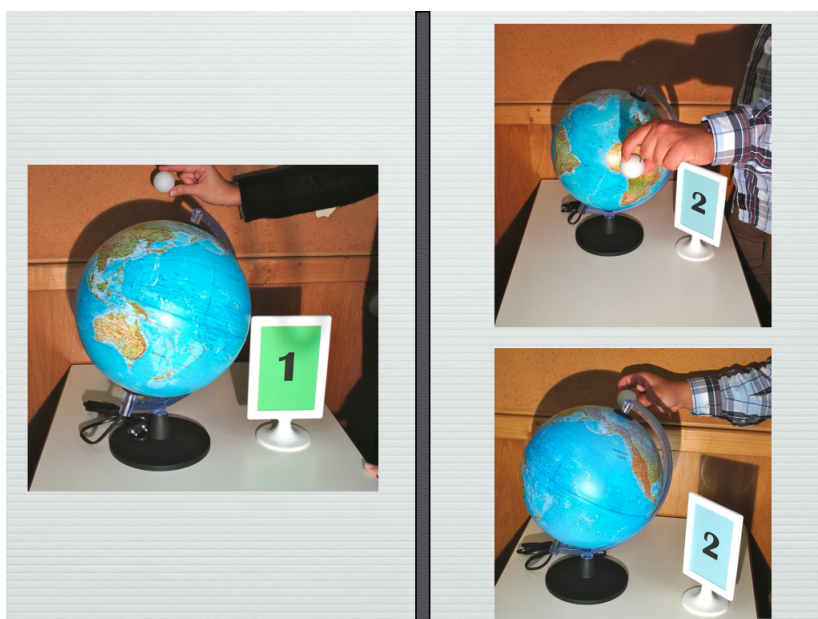


Figura 36: AL: “A Lua é mentirosa?”

	Escolas					
	IND	JML	S	SCD	AH	Total
Grupo experimental	19	111	20			150
Grupo de controlo			67	78	58	203

Tabela 37: Número de alunos participantes no módulo *Terra e Sistema Solar*

12.3 AVALIAÇÃO

12.3.1 Pré/pós-teste

As questões apresentadas no pré/pós-teste foram maioritariamente retiradas e adaptadas da literatura já existente. Assim, as primeiras seis questões e as questões 8.1 e 8.3 são comuns em manuais escolares, as questões 7.1, 7.2, 7.3 e 7.4 são adaptadas do estudo PISA 2000. A questão 8.2 foi elaborada pela autora do estudo. Este instrumento tinha duas partes: a primeira relativa aos conteúdos abordados nas duas primeiras aulas e a segunda relativa às duas aulas restantes.

A validade de conteúdo do questionário foi realizada por dois professores de Física e Química do ensino básico/secundário e um do ensino superior. Foram igualmente consultados outros professores do ensino básico/secundário no sentido de verificar se as questões estavam de acordo com as orientações curriculares [31].

Ver Anexo A (pg. 197).

12.3.2 Resultados

Professores

Os professores referiram que a abordagem que este módulo fez desta subunidade foi muito ambiciosa e de um grau de profundidade muito superior ao anteriormente praticado. No geral, os professores consideraram as AL's de um elevado valor formativo, bem como as simulações realizadas em sala de aula. Contudo, referiram que o tempo previsto para a implementação de todo o módulo (quatro aulas de 90 min) foi claramente insuficiente para atingir os objetivos previstos.

Um aspeto realçado pela maioria dos professores foi a vantagem de realizar simulações quer para os movimentos (rotação, translação e precessão), quer para as fases da Lua e os eclipses. A estratégia de utilizar o retroprojektor para simular o Sol foi bem conseguida, bem como a ideia de introduzir a inclinação dos raios solares numa aula anterior à explicação das estações do ano. Assim, os alunos tiveram tempo para debater esta questão sem saberem, *à priori*, a sua relação com as estações do ano. Segundo os docentes, as simulações enriqueceram as aulas, não só porque os alunos mostraram uma melhor aprendizagem com este método, mas também uma maior motivação. Este facto contribuiu para que o tempo previsto para cada uma das aulas não tivesse sido cumprido.

Os professores referiram que em anos anteriores falavam da existência de fusos horários, como consequência do movimento de rotação da Terra, mas admitiram que os alunos não faziam previsões com o auxílio de globos terrestres ou mapas de fusos horários.

A estação experimental da determinação do raio da Terra por Eratóstenes foi considerada como a mais exigente. Os professores confessaram que os alunos necessitaram da sua ajuda para conseguirem terminar a estação no tempo previsto.

Durante a formação foram discutidas algumas questões sobre as quais os professores reconheceram nunca terem refletido: a diferença entre o dia solar e o dia sideral, a experiência histórica da determinação do raio da Terra por Eratóstenes e as fases da Lua no hemisfério Sul. Para os professores, a Lua era também “mentirosa” para os habitantes do hemisfério Sul e alguns desconheciam, por completo, o movimento de precessão.

Alunos

A informação relativa à avaliação deste módulo está sintetizada na Tabela 38.

	Pré-teste			Pós-teste			Diferença
	M ¹	DP ²	p-value ³	M ¹	DP ²	p-value ³	p-value ⁴
Grupo experimental	6.56	2.128	0.000*	9.57	2.757	0.000*	0.000*
Grupo de controlo	5.50	1.937		7.90	3.133		0.000*

(1) Média (2) Desvio Padrão (3) Teste de Mann-Whitney U (4) Teste de Wilcoxon

* Diferenças estatisticamente significativas para um nível de significância de 0.05

Tabela 38: Resultados estatísticos relativos ao módulo *Terra e Sistema Solar*

Na Tabela 39 encontram-se os resultados da primeira parte do teste e na Tabela 40 os resultados da segunda parte. A negrito encontram-se as respostas corretas a cada uma das questões.

- Na questão 1 (Q1), a maioria dos alunos em ambos os grupos, no pré-teste, considera que um habitante do polo Norte está a uma maior distância do centro da Terra do que um habitante do equador. Já no pós-teste, essa continua a ser a opção mais escolhida pelo grupo de controlo, ao contrário do grupo experimental em que mais de metade dos alunos escolhe a opção correta.
- A questão 2 (Q2) pretendia averiguar se os alunos sabiam o sentido de rotação e translação da Terra. Apesar dos dois grupos terem melhorado do pré para o pós-teste, mais alunos do grupo experimental acertaram na resposta correta. Verificou-se ainda que tanto no pré como no pós-teste, a questão 2.1 (Q2.1) teve sempre melhores resultados do que Q2.2. Fica por explicar este resultado, em que visivelmente os alunos identificam mais facilmente o correto sentido do movimento de translação.
- Na questão 3 (Q3) era necessário relacionar os fusos horários com o movimento de rotação da Terra. Apesar de já no pré-teste os alunos terem escolhido, na sua maioria, a opção correta, o número de alunos que acertou, no pós-teste, foi superior no grupo experimental (68.8% no grupo de controlo e 83.1% no grupo experimental).
- A questão 4 (Q4) pretendia saber se os alunos conseguiam adaptar os pontos cardeais já conhecidos a um referencial menos usual. O grupo experimental teve uma melhoria menos evidente (75.0%) do que o grupo de controlo (80.5%).

		Pré-teste		Pós-teste	
		Controlo	Experimental	Controlo	Experimental
Questão 1	a)	21.6	22.8	24.8	10.7
	b)	49.5	41.4	44.1	36.9
	c)	20.6	19.3	28.7	51.0
	d)	8.2	16.6	2.5	1.3
Respostas válidas*		194	145	202	149
Questão 2.1	a)	48.2	69.8	71.3	87.3
	b)	29.6	19.5	21.8	11.3
	c)	2.5	2.0	2.5	0.0
	d)	19.6	8.7	4.5	1.3
Respostas válidas*		199	149	202	150
Questão 2.2	a)	42.1	52.3	60.9	76.7
	b)	44.7	40.9	31.2	21.3
	c)	6.6	2.7	4.0	0.0
	d)	6.6	4.0	4.0	2.0
Respostas válidas*		197	149	202	150
Questão 3	a)	11.0	8.1	11.4	8.1
	b)	52.5	62.2	68.8	83.1
	c)	22.0	23.6	15.8	7.4
	d)	14.5	6.1	4.0	1.4
Respostas válidas*		200	148	202	148
Questão 4	Incorreto	42.2	31.5	19.5	25.0
	Correto	57.8	68.5	80.5	75.0
Respostas válidas*		192	146	200	148
Questão 5	a)	26.9	34.7	46.5	32.9
	b)	31.5	29.3	21.0	30.9
	c)	22.8	23.8	16.0	18.8
	d)	18.8	12.2	16.5	17.4
Respostas válidas*		197	147	200	149
Questão 6.1	a)	18.2	20.1	17.8	14.7
	b)	46.0	53.0	52.0	62.0
	c)	23.2	17.4	17.8	18.0
	d)	12.6	9.4	12.4	5.3
Respostas válidas*		198	149	202	150
Questão 6.2	a)	39.4	45.6	45.5	63.3
	b)	53.0	47.0	51.0	34.0
	c)	7.6	7.4	3.5	2.7
Respostas válidas*		198	149	200	150
Questão 6.3	a)	52.6	57.1	57.5	53.0
	b)	14.1	8.8	25.5	13.4
	c)	12.5	10.9	6.0	3.4
	d)	20.8	23.1	11.0	30.2
Respostas válidas*		192	147	200	149
Questão 6.4	a)	15.7	18.6	9.5	24.0
	b)	10.1	9.7	7.0	14.7
	c)	44.9	44.8	55.7	38.7
	d)	29.3	26.9	27.9	22.7
Respostas válidas*		198	145	201	150

* As percentagens apresentadas foram calculadas considerando apenas as respostas válidas.

Tabela 39: Frequências de respostas dos pré/pós-testes, por questão, em %, no módulo *Terra e Sistema Solar* (Parte I)

		Pré-teste		Pós-teste	
		Controlo	Experimental	Controlo	Experimental
Questão 7.1	a)	33.8	40.3	54.0	69.6
	b)	9.0	4.7	8.5	0.7
	c)	10.0	16.1	20.1	17.6
	d)	47.3	38.9	17.5	12.2
Respostas válidas*		201	149	189	148
Questão 7.2	a)	32.3	39.6	23.1	27.5
	b)	30.3	14.8	19.1	16.1
	c)	16.9	29.5	37.2	42.3
	d)	20.4	16.1	20.6	14.1
Respostas válidas*		201	199	199	149
Questão 7.3	a)	29.4	40.3	59.1	56.8
	b)	39.6	30.9	24.7	26.0
	c)	19.3	19.5	11.6	11.0
	d)	11.7	9.4	4.5	6.2
Respostas válidas*		197	149	198	146
Questão 7.4	Tudo correto	11.9	9.3	34.5	41.0
	Só eixos corretos	1.6	4.2	5.7	8.2
	Só hemisférios corretos	29.4	40.7	12.6	22.4
	Nada correto	57.1	45.8	47.1	28.4
Respostas válidas*		126	118	174	134
Questão 8.1	a)	28.5	27.6	33.3	27.4
	b)	58.0	64.1	60.1	67.1
	c)	10.5	4.8	3.5	5.5
	d)	3.0	3.4	3.0	0.0
Respostas válidas*		200	145	198	146
Questão 8.2	a)	14.7	10.6	25.8	40.6
	b)	48.2	60.6	50.5	49.0
	c)	17.3	12.0	15.2	8.4
	d)	19.8	16.9	8.6	2.1
Respostas válidas*		197	198	198	143
Questão 8.3	a)	20.2	22.4	10.6	9.1
	b)	26.9	34.3	17.2	11.2
	c)	32.1	28.0	59.6	70.6
	d)	20.7	15.4	12.6	9.1
Respostas válidas*		193	143	198	143

* As percentagens apresentadas foram calculadas considerando apenas as respostas válidas.

Tabela 40: Frequências de respostas dos pré/pós-testes, por questão, em %, no módulo *Terra e Sistema Solar* (Parte II)

- A questão 5 (Q5) revela que os alunos do grupo experimental pioraram os seus resultados do pré para o pós-teste. Assim, no pré-teste 34.7% dos alunos tinha acertado na opção correta, já no pós-teste o valor foi inferior, 32.9%. O grupo de controlo regista uma melhoria, de 26.9% para 46.5%.
- A questão 6 (Q6) relacionava-se com a variação do comprimento da sombra ao longo do dia e a sua relação com os pontos cardeais. Em todas as questões, o grupo experimental teve melhores resultados. O grupo de controlo teve resultados mais modestos e, em duas das quatro questões (6.3 e 6.4), os alunos tiveram piores resultados no pós-teste.
- Das quatro questões que constituem as perguntas adaptadas do estudo PISA: 7.1, 7.2, 7.3 e 7.4, o grupo experimental teve melhores resultados em três. Apenas na questão 7.3 o grupo de controlo esteve melhor.
- Nas questões relativas aos eclipses (8.1, 8.2 e 8.3) o grupo experimental tem sempre melhores resultados do que o grupo de controlo. A diferença mais significativa entre grupos esteve na questão 8.2, a única questão construída pela autora deste estudo.

Nas Tabelas 41 e 42 encontra-se o ganho normalizado de cada uma das questões em ambos os grupos.

	Questões								
	Q1	Q2.1	Q2.2	Q3	Q4	Q5	Q6.1	Q6.2	Q6.3
Grupo experimental	38.3	56.7	52.1	52.6	21.2	-3.0	19.2	31.5	9.1
Grupo de controlo	11.3	44.2	33.9	35.4	55.6	27.0	12.7	9.8	-11.3

Tabela 41: Ganho normalizado, por questão, no módulo *Terra e Sistema Solar* (Parte I)

	Questões							
	Q6.4	Q7.1	Q7.2	Q7.3	Q7.4	Q8.1	Q8.2	Q8.3
Grupo experimental	4.9	46.7	17.1	25.0	30.4	7.9	30.3	54.8
Grupo de controlo	-8.3	26.9	22.9	40.9	24.7	4.7	12.8	39.1

Tabela 42: Ganho normalizado, por questão, no módulo *Terra e Sistema Solar* (Parte II)

No grupo experimental, a descida em Q5 não foi significativa e as subidas em Q1, Q2.1, Q2.2, Q3, Q6.2, Q7.1, Q7.2, Q7.3, Q7.4, Q8.2 e Q8.3 foram significativas. Assim, num total de dezoito questões, onze registaram melhorias significativas. No grupo de controlo, a descida em Q6.4 foi significativa e as subidas em Q1, Q2.1, Q2.2, Q3, Q4, Q5, Q7.1, Q7.2, Q7.3, Q7.4, Q8.2 e Q8.3 foram significativas.

No grupo experimental, 80.7% dos alunos melhoraram a sua performance no teste e 10.0% pioraram. Relativamente ao grupo de controlo, 68.3% melhorou e 18.3% piorou, tal como podemos verificar na Figura 37.

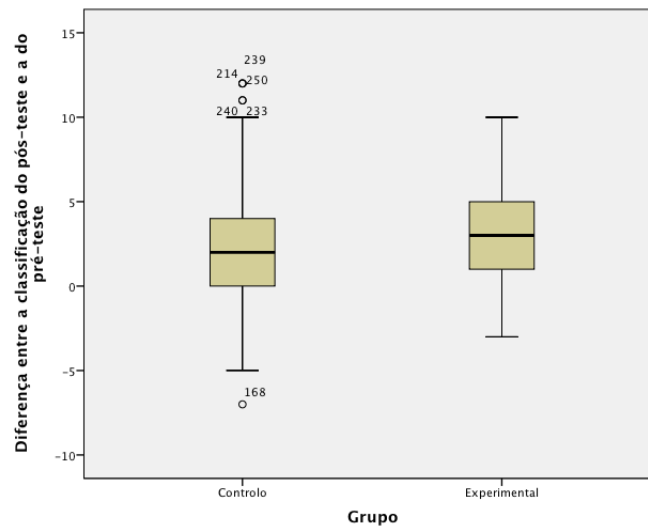


Figura 37: Diferença entre o pós-teste e o pré-teste (por aluno) no módulo *Terra e Sistema Solar*

A média dos pré-testes (Figura 38) foi de 5.50 ($DP = 1.937$) no grupo de controlo e 6.56 ($DP = 2.128$) no grupo experimental. Aplicando o teste de *Mann-Whitney U*, foi testada a hipótese nula obtendo-se um $p\text{-value} = 0.000$, o que indica que as amostras são significativamente diferentes. Quanto ao pós-teste, os valores sobem para 7.90 ($DP = 3.113$) no grupo de controlo e 9.57 ($DP = 2.757$) no grupo experimental.

A melhoria foi significativa em ambos os grupos ($p\text{-value} = 0.000$). Contudo, os resultados do grupo experimental são significativamente superiores aos do grupo de controlo ($p\text{-value} = 0.000$, aplicando o teste de *Mann-Whitney U*). Assim, com uma probabilidade de erro de 5%, podemos assumir que as medianas dos dois grupos são suficientemente

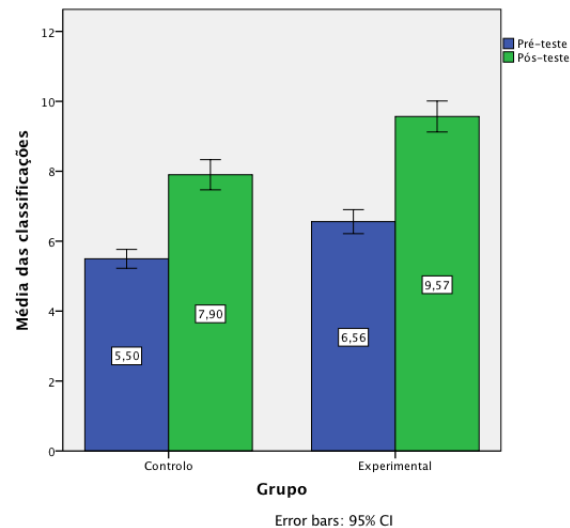


Figura 38: Média das classificações, em ambos os grupos, antes e após a instrução do módulo *Terra e Sistema Solar*

diferentes pelo que a mediana do grupo experimental é significativamente superior à mediana do grupo de controlo.

O questionário tinha, na sua totalidade 17 questões, o que significa que só teve positiva no teste alunos com, pelo menos nove questões certas. A percentagem de positivas no pré-teste foi de 5,9% no grupo de controlo e 18,7% no grupo experimental. No pós-teste, os resultados melhoraram: 35,2% no grupo de controlo e 62,0% no grupo experimental. O ganho normalizado do grupo experimental foi de 28,8% enquanto que o do grupo de controlo foi de 20,9%.

A pequena diferença entre os ganhos normalizados dos dois grupos (cerca de 8 pontos percentuais), justificou uma comparação dos dois grupos relativamente à variável ganho normalizado. Aplicando o teste de *Mann-Whitney U*, obteve-se um *p*-value de 0,001, permitindo-nos rejeitar a hipótese nula e assim concluir que há diferenças significativas entre os dois grupos, no que concerne ao ganho normalizado.

No gráfico da Figura 39, é possível analisar os resultados por escola. Todas as escolas do grupo experimental registaram uma melhoria significativa; contudo, os resultados da escola IND e S são claramente superiores. No grupo de controlo, a escola S registou os melhores resultados. A escola AH não registou melhorias significativas do pré para o pós-teste.

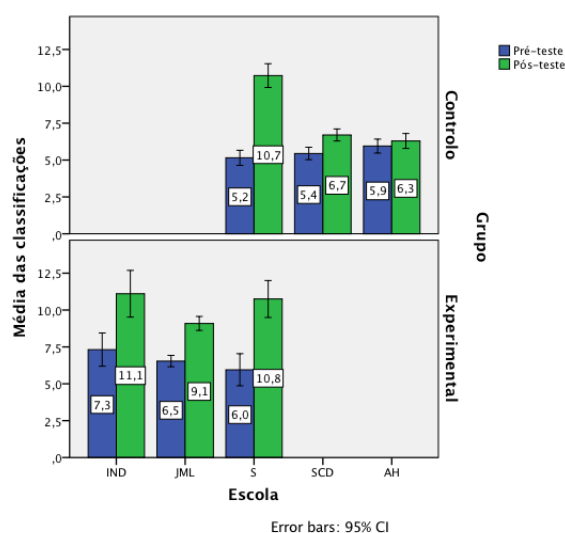


Figura 39: Resultados das escolas no módulo *Terra e Sistema Solar*

12.4 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Este módulo foi considerado muito exigente pela maioria dos docentes. Assim, os professores referiram que com a aplicação deste módulo, a quantidade de conteúdos abordados aumentou significativamente em comparação com anos anteriores. Por outro lado, alguns temas foram dados com maior profundidade, como as fases da Lua e os eclipses.

Contudo, todos reconheceram a importância do lado prático que caracterizou este módulo, não só através das AL's como também pelas simulações feitas na aula teórica. Os professores referiram que a realização sistemática de simulações por parte dos alunos foi imprescindível para que estes compreendessem conceitos fundamentais. O facto das simulações serem feitas com material do dia-a-dia e com os próprios alunos a fazerem de intervenientes, constituíram-se como importantes fatores para o sucesso de implementação. Assim, este módulo trouxe aos professores propostas pedagógicas diferentes e bastante úteis.

Terra e Sistema Solar foi o primeiro módulo a ser implementado, pelo que os professores referiram que o seu próprio processo de adaptação a este modelo (com aulas laboratoriais semanais) pode ter comprometido de alguma forma o tempo inicialmente previsto. Por outro lado, reconheceram uma maior agilidade na montagem e organização das estações experimentais no decorrer das aulas.

Os resultados do grupo experimental são superiores aos do grupo de controlo: o ganho normalizado do grupo experimental foi de 28.8% enquanto que o do grupo de controlo foi de 20.9%. Como se vê, apesar do investimento nas estações laboratoriais, a diferença entre os dois grupos é modesta. Contudo, os professores manifestaram a opinião de

que houve ganhos educativos importantes, nomeadamente em termos de aquisição de competências, relativamente à sua experiência anterior de lecionação, que não se manifestaram nos resultados do pós-teste.

A opinião dos professores é facilmente confirmada através da análise de algumas questões específicas onde o grupo experimental este significativamente melhor. Por exemplo, as respostas a Q1 revelam que os alunos, mesmo após terem estudado, aproximadamente um mês, o planeta Terra desconhecem que um habitante do polo Norte está a uma menor distância do centro da Terra do que um habitante no equador; apenas 28.7% dos alunos do grupo de controlo acertaram (aproximadamente um aumento de oito pontos percentuais relativamente ao pré-teste). Relativamente a esta questão é curioso pensar que, no pré-teste, a maioria dos alunos em ambos os grupos considera que um habitante no equador está mais próximo do centro da Terra do que um habitante no polo Norte. Estes resultados sugerem a existência de uma conceção alternativa, explicada porventura pelo facto dos alunos associarem, no dia-a-dia, os polos Norte/Sul às regiões mais distantes deles e, por isso, mais distantes do centro da Terra. Por outro lado, relativamente à questão 8.2, a diferença de resultados entre grupos no pós-teste pode explicar-se pelas várias simulações feitas nas AL's e aulas teóricas.

O grupo de controlo da escola S teve resultados muito semelhantes aos alunos do grupo experimental. Foram pedidas informações adicionais sobre esta turma. Apurou-se que se tratava de uma turma em que os seus alunos tinham feito toda a escolaridade juntos (desde o 1.º ciclo do ensino básico) e que era, na sua maioria, constituída por filhos de professores.

MOVIMENTOS E FORÇAS

13.1 PREPARAÇÃO

O módulo *Movimentos e forças* compreende uma breve parte introdutória de cinemática e uma exploração inicial ao conceito de força. Na Tabela 43 apresentam-se as conceções alternativas dos alunos, resultantes de uma recolha exaustiva de literatura nesta temática [60, 86, 113], e que se supõem ser imprescindíveis na preparação de aulas sobre forças para alunos deste nível.

1. Se um corpo está parado, nenhuma força atua sobre ele.
2. É preciso atuar permanentemente uma força na direção do movimento para um corpo estar em movimento. Assim, quando uma bola é lançada, esta continua em movimento porque a força responsável por este continua a ser exercida.
3. Se um corpo de maior massa embater num corpo de massa mais reduzida, a força exercida pelo corpo de maior massa no outro, durante a colisão, é maior do que a força que o corpo de menor massa exerce no de maior massa.

Tabela 43: Conceções alternativas dos alunos relativamente ao conceito de força

As investigações indiciam que os alunos consideram que as forças são vistas unicamente como as responsáveis pelo movimento dos objetos. Assim, a força gravítica é a “que faz cair um objeto”. No fundo, os alunos associam forças sempre a movimentos. Assim, para os estudantes, as forças são exercidas apenas em corpos em movimento, isto é, se um objeto estiver em cima de uma mesa, a mesa não exerce nenhuma força sobre ele.

Por outro lado, os alunos identificam sempre a direção e o sentido da força aplicada com a direção e o sentido do movimento, não percebendo que as condições iniciais deste são determinantes. A 3.^a Lei de Newton é igualmente um conceito difícil de ser completamente compreendido pelos alunos, pelo seu carácter não intuitivo.

Para alguns especialistas [60], em termos gerais, o conceito de força deve ser iniciado com situações de equilíbrio (várias forças aplicadas num corpo), para que o aluno compreenda que a existência de forças não significa movimento, e que no dia-a-dia, geralmente, são várias as forças que atuam nos corpos. Após a referida análise, os alunos devem partir para o estudo de forças concretas, como a força gravítica, a reação normal ou a força magnética e estudá-las isoladamente.

Contudo, para alunos que iniciam a aprendizagem deste conteúdo, o primeiro passo é a familiarização com os vetores, como ferramentas essenciais ao estudo de forças. É recomendável a realização de desenhos feitos à escala, feitos numa folha de papel, para que os alunos compreendam o conceito de direção, sentido e módulo [60].

Estudos nesta área revelam igualmente a importância dos alunos, desde cedo, aprenderem a fazer diagramas de forças (*free-diagram bodies*) e explorarem o conceito de força resultante [52, 60]. Os diagramas de forças obrigam os alunos a pensar apenas nas forças que atuam num corpo, em vez das forças que o corpo exerce. Após a identificação e representação de forças, segue-se a etapa de medição de forças. É imprescindível que os alunos aprendam a medir forças com o dinamómetro e que explorem com este instrumento o conceito de forças em equilíbrio. O estudo de forças através do alongamento de molas é outra das sugestões apresentadas [60]. Apesar dos alunos revisitarem o conceito de forças no 9.º ano, na unidade *Em Trânsito*, considera-se que o 7.º ano deve promover um estudo que contemple todas as preocupações referidas anteriormente.

Relativamente à cinemática, deu-se especial atenção à introdução do conceito de velocidade média¹, com grande enfoque na parte experimental e no tratamento matemático adequado à análise de situações do dia-a-dia. As conceções presentes na literatura sobre esta temática reportam importantes indicadores. Contudo, tratam-se essencialmente de preocupações a ter em consideração no desenvolvimento de práticas letivas para níveis mais avançados, pelo que não foram tomados em consideração na construção deste módulo [114, 115].

Assim, neste projeto delinearão-se os seguintes objetivos:

a) Cinemática

- Distinguir situações de movimento e de repouso, de acordo com a variação da posição ao longo do tempo relativamente a um referencial;
- compreender que o conceito de movimento não pode ser separado do de referencial;

¹ Não se considerou útil, neste contexto, tratar o conceito de velocidade como o deslocamento por unidade de tempo.

- *identificar a trajetória como uma linha definida pelas sucessivas posições ocupadas pelo corpo no decorrer do tempo;*
- *distinguir uma trajetória retilínea de uma curvilínea;*
- *identificar as trajetórias circular e elíptica como exemplos de trajetórias curvilíneas;*
- *saber que a órbita dos planetas é uma trajetória elíptica;*
- *identificar a distância percorrida, o intervalo de tempo e a velocidade média como três grandezas físicas que intervêm na descrição do movimento;*
- *identificar a distância percorrida como o comprimento total da trajetória;*
- *calcular a velocidade média, a distância percorrida ou o intervalo de tempo através da expressão: $v_m = d / \Delta t$;*
- *identificar o metro (m) como unidade SI da distância e o segundo (s) como unidade SI do tempo;*
- *deduzir a unidade SI da velocidade média (m/s) através da expressão $v_m = d / \Delta t$;*
- *converter m/s noutras unidades possíveis como cm/h, km/s.... e vice-versa;*
- *calcular o perímetro de uma circunferência;*
- *medir a distância percorrida com uma fita métrica e o intervalo de tempo com um cronómetro.*

b) Forças

- *Compreender que as forças são grandezas físicas que apenas ficam completamente caracterizadas com a identificação simultânea da intensidade, direção, sentido e ponto de aplicação;*
- *identificar as forças presentes em situações concretas e representá-las corretamente através de vetores;*
- *conhecer o newton (N) como a unidade SI da força;*
- *reconhecer que a aplicação de uma força pode deformar os corpos, modificar o seu estado de repouso ou alterar o seu movimento;*
- *saber que a aplicação de uma força nem sempre tem como resultado a existência de um movimento;*

- calcular e representar a força resultante;
- prever a direção e o sentido do movimento através da força resultante (admitindo um corpo inicialmente parado);
- constatar que um corpo pode estar em movimento sem ter uma força aplicada na direção do movimento;
- conhecer o funcionamento de um dinamómetro;
- medir a intensidade de uma força com um dinamómetro;
- determinar o alcance e a sensibilidade do dinamómetro;
- relacionar o newton com o quilograma-força;
- relacionar o alongamento de uma mola com a intensidade da força aplicada;
- identificar as forças muscular, gravítica e magnética como exemplos de forças.

c) 3.^a Lei de Newton e força magnética

- Distinguir forças de contacto de forças à distância e dar exemplos para cada uma delas;
- enunciar e aplicar a 3.^a Lei de Newton;
- identificar os pares ação-reação em situações concretas;
- compreender que a Terra funciona como um íman gigante;
- saber que polos opostos se atraem e polos iguais se repelem;
- saber que o polo Norte geográfico não coincide com o polo Norte magnético e que o polo Sul geográfico não coincide com o polo Sul magnético;
- compreender o conceito de declinação magnética;
- saber utilizar uma bússola.

d) Força gravítica

- Verificar que quanto maior é o valor da massa de um corpo, maior é o alongamento sofrido por uma mola onde este está suspenso;
- saber que o valor da força exercida pela mola do dinamómetro quando suspende um objeto coincide com o valor do peso deste;

- identificar o peso como a força gravítica que a Terra exerce sobre um corpo;
- constatar que o valor da força gravítica varia com a massa dos corpos e com a distância entre eles;
- saber que quanto maior é a massa de um corpo, maior é a intensidade da força gravítica;
- saber que quanto menor é a distância entre os corpos, maior é a intensidade da força gravítica;
- deduzir que a força gravítica aumenta com a diminuição da altitude e com o aumento da latitude;
- saber que a força gravítica é uma força de atração que existe entre todos os corpos do Universo que tenham massa;
- saber que a massa de um corpo não se altera com o sítio onde ele se encontra.

13.2 IMPLEMENTAÇÃO

13.2.1 Procedimento

O material relativo a este módulo encontra-se no CD que acompanha a tese.

Aula	Conteúdos	Atividade laboratorial
1	Movimento e estado de repouso	"Quem é o vencedor?"
	Trajectoria e distância	
	Tipos de trajetória	
	Características dos movimentos:	
	- Distância - Tempo - Velocidade média	
2	Força: uma grandeza vetorial	"Vamos medir forças?"
	Representação de forças num corpo	
	Força resultante	
	Utilização do dinamómetro	
3	Forças de contacto e forças à distância	"A Terra: um íman gigante"
	3.ª Lei de Newton	
	Força magnética	
4	Força gravítica	"Qual é o teu peso em Júpiter?"

Tabela 44: Distribuição das aulas no módulo *Movimentos e forças*

O módulo *Movimentos e forças* é constituído por quatro aulas, cada uma com 90 min, tendo todas componente teórica e laboratorial. A distribuição das aulas é apresentada na Tabela 44.

Este módulo apostou fortemente no combate às concepções apresentadas na Tabela 43 e na promoção da mudança conceptual. Optou-se por dedicar uma aula à cinemática e três aulas ao estudo de forças. As AL's funcionaram em articulação com as aulas teóricas, permitindo aos alunos uma maior consolidação da matéria. As aulas teóricas foram planificadas tendo em vista as vivência dos alunos em situações que destacassem o conceito físico a ser estudado e colocassem em xeque as ideias e expectativas dos mesmos, exigindo novas explicações.

A primeira aula foi concedida ao estudo de trajetórias e ao conceito de velocidade média. A expressão matemática associada à velocidade média foi trabalhada na aula e os alunos puderam consolidar as aprendizagens através de uma ficha de trabalho. Nesta aula apostou-se fortemente no treino de reduções de unidades.

A AL: “*Quem é o vencedor?*” foi dedicada inteiramente ao estudo de movimentos: distância percorrida, trajetórias e velocidade média. Constituída apenas por duas estações experimentais (Figura 40), esta AL apostou no cálculo matemático e, simultaneamente, no desenvolvimento de competências laboratoriais associadas à medição de grandezas físicas (distância e tempo). Nesta aula, os alunos trabalharam o conceito de velocidade média em trajetórias retilíneas e circulares.



Figura 40: AL: “Quem é o vencedor?”

A segunda aula trabalhou exaustivamente a representação de forças em corpos, no sentido de permitir a compreensão do conceito de força resultante e de forças em equilíbrio. Foram exploradas inúmeras situações do dia-a-dia, com recurso aos diagramas de representação de forças e o dinamómetro foi analisado e explorado, bem como o conceito de sensibilidade e alcance. Para uma melhor compreensão do conceito de vetor, os alunos representaram vetores à escala e calcularam os módulos de forças resultantes.

Na AL: “*Vamos medir forças?*”, os alunos puderam medir forças com dinamómetros, relacionar a variação do comprimento da mola com a força aplicada, explorar o conceito de sensibilidade e alcance de um instrumento e, por fim, representar forças em diagramas, tendo especial atenção à força resultante (Figura 41).

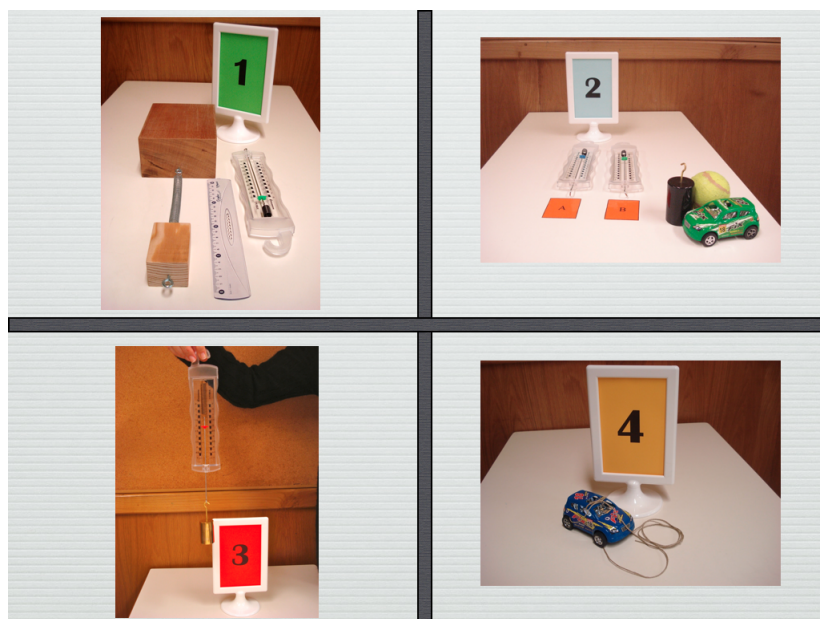


Figura 41: AL: “Vamos medir forças?”

A terceira aula foi dedicada à 3.^a Lei de Newton, ao conceito de forças de contacto e forças à distância e ao estudo da força magnética, incluindo o conceito de declinação magnética. Na AL respetiva: “*A Terra: um íman gigante*” (Figura 42), os alunos aprenderam a trabalhar com bússolas nas estações experimentais 1 e 2. Na estação 3, foi apresentada a experiência de Oersted aos alunos (analisada no 9.^o ano e, posteriormente, no 11.^o ano) e, na estação 4, os alunos exploraram simultaneamente ímanes e bússolas.

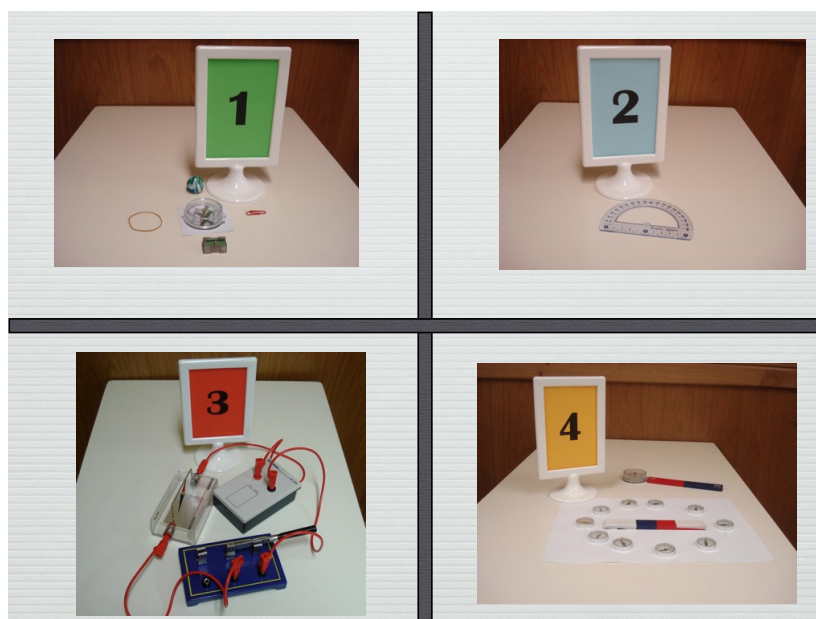


Figura 42: AL: “A Terra: um íman gigante”

A última aula foi dedicada à força gravítica. Considerou-se que os alunos apenas conseguiam distinguir massa de peso se compreendessem a natureza da força gravítica, pelo que se destinou uma aula a esta força fundamental. O alongamento vertical sofrido por uma mola, que tinha associada a si uma massa marcada, foi o ponto de partida para a discussão do conceito de força gravítica. Apesar dos alunos não aprenderem, nesta fase, a Lei da Gravitação Universal, foi discutida qualitativamente a dependência da massa e da distância.

As estações experimentais propostas na AL: “*Qual é o teu peso em Júpiter?*” estavam relacionadas com o conceito de massa e peso e com a determinação da força gravítica. Os alunos utilizaram dinamómetros, como podemos ver na Figura 43. Na estação experimental 3, os alunos após registarem a massa de uma bola com uma balança e o peso com um dinamómetro, mergulhavam o objeto dentro de água e registavam o valor lido pelo dinamómetro. Ao comparar este valor com o anterior, os alunos tinham que apresentar uma explicação para a diferença observada. A estação experimental 2 não está presente por se tratar de uma estação teórica.

13.2.2 Participantes

A Tabela 45 apresenta o número de alunos participantes no módulo *Movimentos e forças*: 187 alunos no grupo de controlo e 160 no grupo ex-

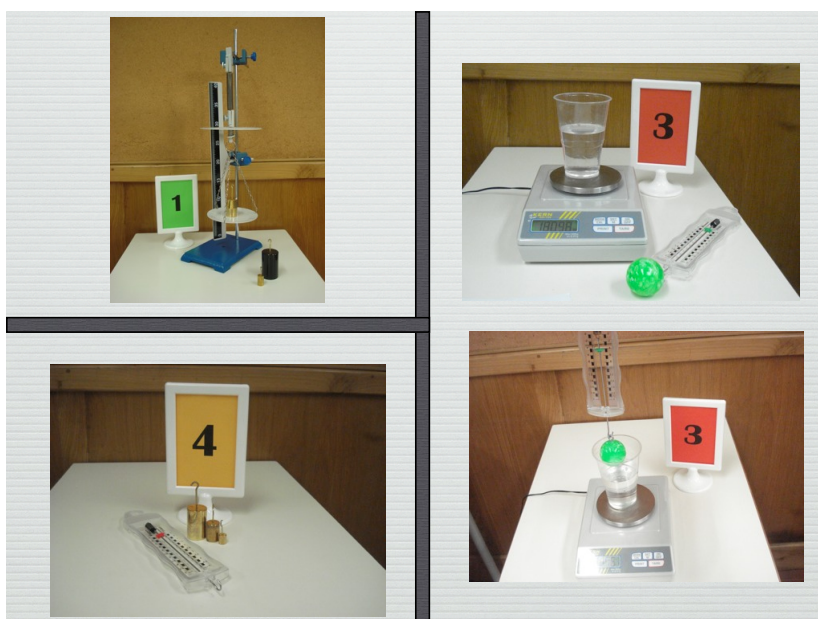


Figura 43: AL: “Qual é o teu peso em Júpiter?”

perimental. Cinco professores, distribuídos por três escolas constituíram o núcleo experimental.

	Escolas					Total
	IND	JML	S	SCD	AH	
Grupo experimental	19	123	18			160
Grupo de controlo			41	82	64	187

Tabela 45: Número de alunos participantes no módulo *Movimentos e Forças*

13.3 AVALIAÇÃO

13.3.1 Pré/pós-teste

Algumas questões apresentadas no pré/pós-teste foram elaboradas no sentido de abrangerem as concepções alternativas dos alunos sobre forças e, na sua maioria, foram adaptadas da literatura já existente. As questões 1.1, 1.2 e 1.3, as únicas questões da autoria da autora deste estudo, relacionam-se com o controlo de variáveis numa atividade experimental e o conceito de velocidade. A questão 2 relaciona-se com a 3.^a Lei de Newton e a questão 3 com a concepção errada de que se um corpo está parado é porque não atuam forças sobre ele.

Ver Anexo A (pg. 203).

A questão 4 é uma questão de controlo dado que se trata de uma questão presente nos manuais escolares. As questões 5 e 6 referem-se à ideia errada de que é preciso atuar permanentemente uma força na direção do movimento para um corpo estar em movimento.

A validade deste instrumento foi assegurada pela revisão de dois professores de Física e Química do ensino básico/secundário e um do ensino superior. Foram igualmente consultados outros professores do ensino básico/secundário no sentido de averiguar se as questões iam de encontro às orientações curriculares [31]. Na Tabela 46 encontra-se explicitamente a relação de cada resposta com as CA's.

Conceções alternativas	Questões
Se um corpo está parado, nenhuma força atua sobre ele.	Q3a)
É preciso atuar permanentemente uma força na direção do movimento para um corpo estar em movimento.	Q5b) Q5c) Q5e) Q6a)
Se um corpo de maior massa embater num corpo de massa mais reduzida, a força exercida pelo corpo de maior massa no outro, durante a colisão, é maior do que a força que o corpo de menor massa exerce no de maior massa.	Q2a)

Tabela 46: Identificação das conceções alternativas, nas diferentes questões, no módulo *Movimentos e forças*

13.3.2 Resultados

Professores

Os professores deste módulo referiram a grande extensão do mesmo para o tempo letivo que possuíam e revelaram que a exploração do conceito de força, abordado neste módulo, era bastante mais exaustivo do que a sua prática letiva normal. Assim, a planificação anual, feita no início do ano, previa menos aulas para este módulo (aproximadamente 2 a 3 aulas). Para além disso, referiram não ser usual, no 7.º ano, os alunos representarem forças num corpo, através de diagramas de forças. Por outro lado, os docentes mencionaram que situações de equilíbrio, bem como o conceito de força resultante, não eram usualmente discutidas. Em termos experimentais, alguns professores referiram que a exploração do dinamómetro pelos alunos não era uma prática comum. Assim, geralmente, os professores realizavam simples demonstrações em sala de aula.

Em termos gerais, os professores consideraram o módulo bastante coeso e bem fundamentado mas muito exigente, quando comparado com as práticas letivas normais, apoiadas fundamentalmente nos manuais

escolares. Por outro lado, os exercícios relacionados com a velocidade média foram considerados mais difíceis do que os habitualmente trabalhados pelos professores (muitas reduções de unidades).

As AL's foram muito bem recebidas pelos alunos. Os professores reconheceram a importância dos alunos trabalharem diretamente com dinamómetros e de relacionarem forças com alongamentos de molas.

Alunos

A informação relativa à avaliação deste módulo está sintetizada na Tabela 47.

	Pré-teste			Pós-teste			Diferença
	M ¹	DP ²	p-value ³	M ¹	DP ²	p-value ³	p-value ⁴
Grupo experimental	2.05	1.309	0.011	3.23	1.649	0.000*	0.000*
Grupo de controlo	1.69	1.241		2.48	1.465		0.000*

(1) Média (2) Desvio Padrão (3) Teste de Mann-Whitney U (4) Teste de Wilcoxon

* Diferenças estatisticamente significativas para um nível de significância de 0.05

Tabela 47: Resultados estatísticos relativos ao módulo *Movimentos e forças*

Na Tabela 48 encontram-se os resultados dos testes. As opções corretas de cada questão encontram-se a negrito.

- Na questão 1.1 (Q1.1), os alunos do grupo experimental parecem ter um conceito de controlo de variáveis mais apurado na realização de uma experiência. Assim, a percentagem de alunos que acertou, no pós-teste, em todas as alíneas corretas foi de 8.3 no grupo experimental e 4.7 no grupo de controlo. Já na questão 1.2 (Q1.2), o grupo experimental volta a revelar uma maior *performance*, uma vez que 41.4% dos alunos acertou em todas as opções corretas, contra 31.8% do grupo de controlo. Na questão 1.3 (Q1.3), 60.7% dos alunos do grupo experimental acerta na opção correta contra 55.2% no grupo de controlo. Note-se, contudo, que a opção correta já tinha sido escolhida pela maioria, em ambos os grupos, no pré-teste.
- Na questão 2 (Q2), relativa à 3.^a Lei de Newton, é visível no pré-teste a conceção alternativa pela escolha da opção a): 62.4% no grupo de controlo e 73.1% no grupo experimental. No pós-teste, o número de alunos a escolher esta opção decresce em ambos os grupos. Contudo, apenas 28.1% dos alunos do grupo de controlo escolheu a opção correta e no grupo experimental a percentagem foi de 36.6%.

		Pré-teste		Pós-teste	
		Controlo	Experimental	Controlo	Experimental
Questão 1.1	Incorreto	96.2	93.8	95.3	91.7
	Correto	3.8	6.2	4.7	8.3
Respostas válidas*		210	145	211	145
Questão 1.2	Incorreto	81.0	67.1	68.2	58.6
	Correto	19.0	32.9	31.8	41.4
Respostas válidas*		210	143	211	145
Questão 1.3	Sim	36.8	35.2	35.7	31.0
	Não	42.1	50.3	55.2	60.7
	Impossível saber	21.1	14.5	9.0	8.3
Respostas válidas*		209	145	210	145
Questão 2	a)	62.4	73.1	50.0	53.1
	b)	15.7	13.1	15.2	7.6
	c)	10.5	6.9	28.1	36.6
	d)	11.4	6.9	6.7	2.8
Respostas válidas*		203	145	210	145
Questão 3	a)	28.9	25.7	25.2	19.9
	b)	15.2	8.3	28.2	26.2
	c)	40.2	44.4	31.6	36.9
	d)	15.7	21.5	15.0	17.0
Respostas válidas*		204	144	206	141
Questão 4	a)	11.0	9.0	6.3	4.8
	b)	11.0	7.6	7.7	3.4
	c)	45.5	36.8	41.8	36.6
	d)	32.5	46.5	44.2	55.2
Respostas válidas*		209	144	208	145
Questão 5	a)	18.4	18.3	22.3	46.2
	b)	14.6	12.0	9.7	10.5
	c)	35.0	53.5	32.0	35.7
	d)	16.0	10.6	17.0	7.0
	e)	16.0	5.6	18.9	0.7
Respostas válidas*		206	142	206	143
Questão 6	a)	43.8	42.7	31.0	26.4
	b)	29.3	37.1	36.2	50.0
	c)	11.5	7.7	9.0	4.2
	d)	15.4	12.6	23.8	19.4
Respostas válidas*		208	143	210	144

* As percentagens apresentadas foram calculadas considerando apenas as respostas válidas.

Tabela 48: Frequências de respostas dos pré/pós-testes, por questão, em %, no módulo *Movimentos e forças*

- Na questão 3 (Q3), a opção mais escolhida no pré e pós-teste em ambos os grupos foi a opção c), isto é, para a maioria dos alunos, se um barco se encontra parado (relativamente à água) é porque as forças que atuam no barco não são suficientemente intensas para movê-lo. A opção correta (opção b) apesar de ter ganho mais adeptos nos pós-teste é ainda reduzida: 28.2% no grupo de controlo e 26.2% no grupo experimental.
- A questão 4 (Q4) é uma questão clássica nos manuais escolares e pretendia averiguar se os alunos sabiam representar forças à distância. No grupo experimental, 55.2% dos alunos escolheu a opção correta e no grupo de controlo 44.2%. Ambos os grupos melhoraram a sua prestação.
- Na questão 5 (Q5), os alunos no pré-teste escolhem maioritariamente a opção c) o que demonstra a existência da conceção

alternativa de que as forças aplicadas estão sempre na direção e sentido do movimento. No pós-teste, a conceção diminuiu visivelmente. Ainda assim, apenas 22.3% dos alunos escolheu a opção correta no grupo de controlo. No grupo experimental, a opção correta foi escolhida por 46.2% dos alunos.

- Na questão 6 (Q6), os resultados confirmam a tendência verificada em Q5. No pré-teste, a opção mais escolhida em ambos os grupos é a a) que corresponde à conceção alternativa. No pós-teste, os resultados melhoram em ambos os grupos, sendo que o grupo experimental regista melhores resultados: 50.0% dos alunos do grupo experimental e 36.2% no grupo de controlo escolhem a opção correta.

	Questões							
	Q1.1	Q1.2	Q1.3	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
Grupo experimental	2.1	13.2	22.0	32.3	19.6	16.7	34.2	20.6
Grupo de controlo	1.0	16.1	22.4	20.0	14.1	17.7	4.9	9.9

Tabela 49: Ganho normalizado, por questão, no módulo *Movimentos e forças*

Na Tabela 49 encontra-se o ganho normalizado de cada uma das questões em ambos os grupos. O grupo experimental, quando comparado com o grupo de controlo, só não apresenta melhores resultados em Q3.

Em ambos os grupos, em todas as questões, os alunos melhoraram os seus resultados, apesar da melhoria não ter sido sempre significativa. Assim, no grupo experimental a melhoria foi significativa em Q1.3, Q2, Q3 e Q5. No grupo de controlo, as melhorias foram significativas em Q1.2, Q1.3, Q2, Q3 e Q4.

Como podemos verificar na Figura 44, no grupo experimental 64.8% dos alunos melhoraram a sua *performance* no teste e 17.2% pioraram. Relativamente ao grupo de controlo, 53.6% melhoraram e 22.8% pioraram.

A média dos pré-testes (Figura 45) foi de 1.69 ($DP = 1.241$) no grupo de controlo e 2.05 ($DP = 1.309$) no grupo experimental. Aplicando o teste de *Mann-Whitney U*, foi testada a hipótese nula obtendo-se um $p\text{-value} = 0.011$ o que indica que as amostras são significativamente diferentes. Quanto ao pós-teste, os valores sobem para 2.48 ($DP = 1.465$) no grupo de controlo e 3.23 ($DP = 1.649$) no grupo experimental.

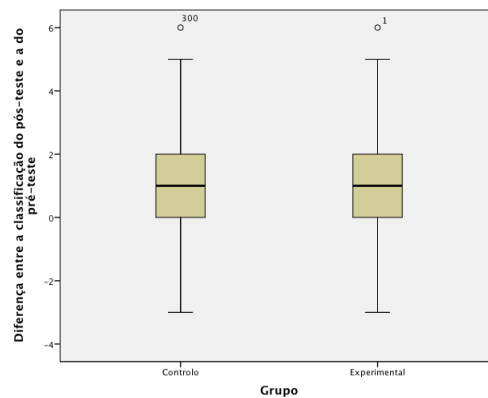


Figura 44: Diferença entre o pós e o pré-teste (por aluno) no módulo *Movimentos e forças*

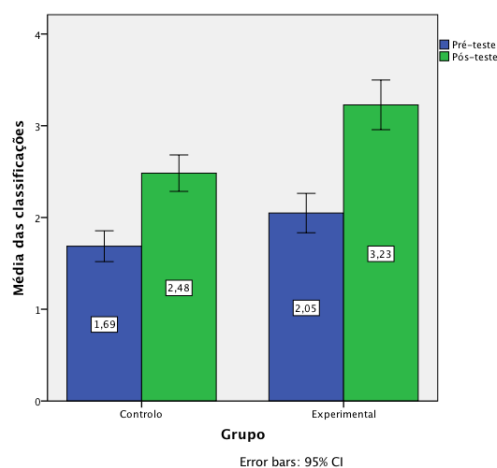


Figura 45: Média das classificações, em ambos os grupos, antes e após a instrução no módulo *Movimentos e forças*

A melhoria foi significativa no grupo experimental e no grupo de controlo ($p\text{-value} = 0.000$). Contudo, os resultados do grupo experimental no pós-teste são significativamente superiores aos do grupo de controlo ($p\text{-value} = 0.000$, aplicando o teste de *Mann-Whitney U*). Assim, com uma probabilidade de erro de 5%, podemos assumir que as medianas dos dois grupos são significativamente diferentes pelo que a mediana do grupo experimental é significativamente superior à mediana do grupo de controlo.

O ganho normalizado do grupo experimental foi de 19.8% enquanto que o do grupo de controlo foi de 12.5%. Como a diferença entre os dois ganhos era relativamente próxima (cerca de 7 pontos percentuais), procedeu-se a uma comparação dos dois grupos relativamente

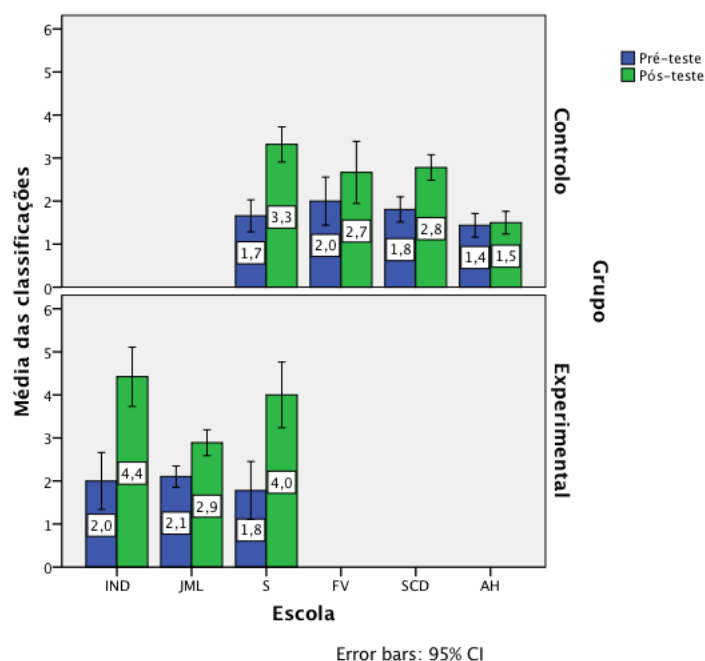


Figura 46: Resultados das escolas no módulo *Movimentos e forças*

à variável ganho normalizado. Aplicando o teste de *Mann-Whitney U*, obteve-se um p -value de 0.009, permitindo-nos rejeitar a hipótese nula e assim concluir que há diferenças significativas entre os dois grupos.

O questionário tinha, na sua totalidade 8 questões, o que significa que só tiveram positiva no teste alunos com, pelo menos quatro questões certas. A percentagem de positivas no pré-teste foi de 9.0% no grupo de controlo e 15.9% no grupo experimental. No pós-teste, 25.1% dos alunos do grupo de controlo tiveram positiva e, no caso do grupo experimental, a percentagem foi de 43.5%.

No gráfico 46, é possível analisar os resultados por escola. No grupo de controlo, as escolas S e SCD registaram os melhores resultados, apresentando melhorias significativas. Já no grupo experimental, todas as escolas apresentaram melhorias significativas, mas os resultados da escola IND são superiores.

O grupo de controlo da escola S teve novamente resultados muito semelhantes aos alunos do grupo experimental, tal como aconteceu no módulo anterior.

13.4 DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os resultados do módulo *Movimentos e forças* veio mostrar as dificuldades que os alunos sentem sobre esta temática. Apesar dos resultados

do grupo experimental serem significativamente superiores aos do grupo de controlo, as melhorias são modestas: o grupo experimental teve um ganho normalizado de 19.8% e o grupo de controlo 12.5%.

Da análise que fizemos no terreno, uma das interpretações possíveis, prende-se com o facto dos professores do grupo experimental terem achado que o módulo era excessivamente grande e exigente. Quando consultados, os professores explicaram que se poderia tirar uma das aulas. Neste caso, sugeriam a aula destinada à força magnética, uma vez que ela é discutida, posteriormente, no 9.º ano.

Por outro lado, é um facto bem documentado na literatura [113], e bem conhecido de todos os professores, que um modelo Aristotélico de forças e movimentos sobrevive à instrução mesmo a nível universitário. É possível que a prática letiva do grupo experimental tenha aberto algumas brechas nesse modelo (note-se por exemplo a diferença de ganhos nos dois grupos nas questões Q5 e Q6), e é pouco provável que esta primeira abordagem destes conceitos tenha sido suficiente.

A explicação supracitada pode justificar o facto dos ganhos deste módulo serem inferiores aos do módulo anterior. Por outro lado, estes resultados permitem-nos igualmente exportar indicadores importantes que nos conduzem à necessidade de uma lecionação de forças mais exaustiva e fundamentada, onde deve constar a lecionação dos diagramas de forças e a exploração da força resultante.

Foi considerado muito importante as AL's para que os alunos pudessem realizar medições diretas com instrumentos como o dinamómetro, a balança ou a fita métrica. A própria AL: "*Quem é o vencedor?*" foi considerada muito interessante por alunos e professores, uma vez que a parte das medições decorreu fora da sala de aula, o que contribuiu para uma maior motivação por parte dos alunos.

CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

14.1 CONCLUSÕES

Este ensaio seguiu um procedimento que pretendeu, num primeiro momento, apresentar uma reflexão sobre as políticas educativas emergentes da última reforma educativa no ensino básico e, posteriormente, testar um conjunto de medidas potenciadoras de práticas letivas fundamentadas e eficazes.

Apresentam-se, seguidamente, as principais conclusões no que concerne às seis hipóteses de investigação formuladas no capítulo 4. Consideram-se validadas todas as hipóteses de investigação, à exceção da H_4 por falta de indicadores.

H₁: Os alunos sujeitos ao programa de intervenção têm um melhor desempenho, medido em testes inspirados em propostas nacionais e internacionais, do que os alunos do grupo de controlo.

Sem pretendermos ser exaustivos, apresentamos a Tabela 50 que nos revela indicadores claros do sucesso deste programa.

Módulo	Ganho Normalizado	
	Controlo	Experimental
Terra e Sistema Solar	20.9	28.8
Movimentos e forças	12.5	19.8
Caraterísticas e comportamento da luz	14.1	29.9
Espelhos planos	3.0	26.0
Refração	9.7	44.9
A cor	24.2	64.8

Tabela 50: Ganho normalizado em cada módulo, em %

Parece-nos significativo que o grupo experimental tenha um melhor desempenho do que o grupo de controlo em *todos* os módulos, embora essa melhoria tenha sido muito mais expressiva nos módulos do 8.º ano. Recorde-se que os resultados dos pós-testes, no grupo experimental, foram sempre significativamente superiores aos do grupo de controlo.

Uma possível explicação para os módulos do 8.º ano terem registado diferenças mais significativas entre grupos pode residir no facto dos manuais escolares, em comparação com este ensaio, terem uma

Não há qualquer evidência estatística que o projeto tenha tido reflexos negativos na aprendizagem dos alunos.

abordagem mais superficial no domínio da ótica geométrica, quando comparados com os conteúdos abordados no 7.º ano.

Uma análise mais detalhada revela-nos ainda que no grupo experimental, a escola com melhores resultados nos pré-testes foi uma escola privada, registando posteriormente as melhorias mais significativas. Este resultado está de acordo com as previsões iniciais, dado ser a escola que contém alunos numa situação economicamente mais favorecida. Por outro lado, o grupo experimental da escola EB 2,3 de Sobreira, a escola social e economicamente mais desfavorecida de ambos os grupos, teve melhor desempenho que qualquer uma das escolas do grupo de controlo.

Apesar de não ter existido uma comparação entre o desempenho de cada um dos alunos e as suas avaliações à disciplina de Ciências Físico-Químicas, ou a outras disciplinas, os professores consideraram que o projeto foi essencialmente eficaz para alunos avaliados em níveis médios e baixos.

Em todos os pré/pós-testes colocaram-se questões habitualmente presentes em manuais escolares para averiguar até que ponto os alunos do grupo experimental, cujas aulas não eram baseadas em manuais, respondiam a questões que eram conhecidas dos alunos do grupo de controlo. Também neste campo os alunos do grupo experimental tiveram uma melhor *performance*.

Uma das questões que se poderá levantar neste estudo é o facto de não ter sido realizado objetivamente qualquer teste quantitativo de fiabilidade. Esta questão prendeu-se com o facto de cada teste envolver vários conceitos/conceções alternativas testados/as com um número reduzido de perguntas. Em testes como estes, onde são investigados vários tópicos científicos, parcialmente independentes entre si, não estão reunidas as condições para testar a fiabilidade. Contudo, em cada módulo, tivemos indicadores de que as respostas não foram escolhidas aleatoriamente. Em praticamente todas as perguntas dos pré-testes, observou-se uma alta frequência de determinadas respostas (relativas a CA's) entre os dois grupos, o que mostra que as respostas não foram escolhidas aleatoriamente e tenderam a seguir certos padrões.

A utilização de questionários como instrumento principal de avaliação do projeto constituiu-se como a melhor maneira de analisar o sucesso do programa em larga escala. Contudo, há algumas reservas nas conclusões que poderemos retirar da análise dos seus resultados. Por exemplo, o facto de haver alunos com a mesma classificação num determinado teste, não significa que possuam as mesmas conceções ou preparações académicas. Os modelos que os alunos aplicam para resolver problemas são muito complexos, envolvem uma estrutura de relações que dificilmente transparece neste tipo de questionários. Assim, ainda que o resultado de um teste aparentemente mostre a sua superação, isto não significa que o modelo tenha sido revisto e reconstruído.

A fiabilidade é importante no sentido de assegurar que as respostas dos alunos refletem as suas ideias sobre os conceitos e não são aleatórias.

Precisaríamos de proceder a um estudo mais completo, por exemplo, uma análise qualitativa para averiguar, com pormenor, a evolução dos modelos mentais.

Em todos os módulos, os professores deram o seu *feedback* durante a formação e após a sua implementação. Os resultados foram apresentados e analisados de uma forma informal ao longo de cada módulo, nos capítulos anteriores. As opiniões convergem no sentido do programa ter contribuído para uma melhor preparação académica por parte dos alunos, quando comparado com as práticas letivas anteriores.

Não se revelou possível controlar ou até mesmo conhecer todas as variáveis intervenientes. Assim, é com alguma precaução que encaramos a generalização dos resultados deste estudo, apesar dos indicadores claros que ele sugere, como seja a importância de uma maior interação entre professores e investigadores, a realização de atividades laboratoriais com uma significativa periodicidade e uma formação contínua (científica e pedagógica) de professores. Contudo, não podemos deixar de salientar neste estudo uma componente de intervenção pedagógica de índole pragmática. Foram colocados em jogo, no ambiente de sala de aula, um conjunto de propostas concretas de trabalho, cujos resultados foram francamente positivos. Aliás, em nossa opinião, o controlo de variáveis é um dos problemas mais sérios da investigação em Educação; mas é parcialmente torneado, se em vez de procurar a generalização, se ensaiarem as soluções no contexto particular em que se pretendem implementar. Não ficamos a saber o que se aplica a todos, mas criamos soluções viáveis para alguns.

H₂: Um currículo no 3.º ciclo do ensino básico que contemple semanalmente aulas laboratoriais é viável nas escolas portuguesas.

Este estudo mostrou que é possível a realização de aulas laboratoriais semanais. Ficou claro que a organização prévia dos materiais em *kits* reduz substancialmente o tempo que o professor precisa de investir para realizar uma aula laboratorial, viabilizando a sua realização; caso contrário, torna-se impossível ao professor coordenar semanalmente, em aulas de 45 min, todo o material necessário.

H₃: Aulas laboratoriais semanais, com avaliação e bem integradas no currículo, não comprometem, antes favorecem, a aprendizagem.

Todos os professores consideraram as atividades laboratoriais muito importantes para a formação académica dos alunos e para a promoção de uma interação mais forte entre aluno-professor e aluno-aluno.

Aplaudiram a existência de fichas laboratoriais para avaliação, porque o facto de avaliar constantemente os alunos permitiu-lhes saber, em tempo útil, as dificuldades sentidas por estes e resolvê-las na própria aula ou na aula teórica seguinte. Consideraram todo o modelo das estações experimentais prático e eficaz e elogiaram a existência de *kits* já organizados.

Os docentes referiram, informalmente, que toda a estrutura pedagógica do ensaio constituiu uma fonte de motivação para os alunos que, posteriormente, solicitaram aulas como as que tiveram durante este programa. A periodicidade semanal de AL's deu uma importante contribuição nesse sentido.

A crítica mais frequente, partilhada pelos docentes, foi que o tempo letivo destinado a estas aulas excedeu o previsto pelo programa e pelas suas planificações anuais. Por um lado, os módulos abarcaram significativamente mais conteúdos do que aqueles que eram abordados pelos professores em anos anteriores, por outro, as práticas letivas eram mais exigentes.

H₄: Um programa construído com base em objetivos não compromete o desenvolvimento de competências.

A reduzida abrangência temporal deste programa de intervenção e a ausência de instrumentos adequados para esse fim não nos permitiu validar esta hipótese de investigação. Assim, reconhece-se neste caso alguma falta de adequação da abordagem metodológica ao que se pretendia testar. Contudo, foi possível verificar que a existência de aulas com objetivos bem definidos não inibiu os docentes de adaptar as aulas às necessidades das suas turmas. Frequentemente, os professores alteraram as planificações das aulas teóricas sem nunca comprometer o rigor científico. Nos seus relatos informais, os docentes mostraram-se agradados com a existência de aulas com objetivos bem definidos, referindo que se sentiam mais seguros em termos científicos e pedagógicos.

Os docentes consideraram os questionários realizados pelos alunos insuficientes para avaliar a profunda e real importância deste estudo, nomeadamente no que respeita ao desenvolvimento de competências. Na sua opinião, se as aulas tivessem sido observadas e se se tivessem realizado entrevistas aos estudantes, procedendo posteriormente a uma análise de conteúdo, ter-se-ia verificado que as vantagens deste ensaio, no campo do desenvolvimento de competências, vão para além do que a avaliação feita pôde revelar. Neste domínio, também de acordo com os docentes, as AL's tiveram um importante contributo, quer pela sua essência quer pela sua frequência.

H₅: Ao nível do ensino básico, a formação científica é essencial na lecionação de um currículo coerente e estruturado.

A aposta numa formação científica e pedagógica dos professores durante a implementação do programa constituiu-se como forte estaca para o seu sucesso. O ensaio permitiu o envolvimento direto e pessoal entre docentes e investigação especializada na área e, por isso, um envolvimento muito forte das escolas num trabalho ativo e concreto.

Esta investigação corrobora que anos de experiência no ensino de um determinado tópico (mesmo que seja no ensino básico) não conduz necessariamente ao desenvolvimento de uma compreensão fundamentada dos conceitos abordados pelos docentes [116]. Alguns professores mostraram debilidades científicas na discussão de alguns tópicos, deixando transparecer total desconhecimento de alguns fenómenos ou mesmo conceções erradas de alguns conceitos.

A maioria dos docentes envolvidos no ensaio revelaram que as suas aulas se baseavam quase exclusivamente em manuais escolares. Pelas investigações realizadas neste campo, não será difícil generalizar este facto a nível nacional. A preparação científica dos professores, às vezes débil, acompanhada de uma ausência de objetivos científicos claros e de um nevoeiro informacional nos diferentes tópicos científicos, pode explicar este fenómeno.

Torna-se curioso verificar que após anos da publicação de importantes indicadores no ensino da Física, os professores envolvidos não tinham qualquer conhecimento da sua existência. Assim, assumidamente e, tal como é referido em inúmeros trabalhos, a investigação nesta área tem dificuldades em se reportar para a sala de aula. Provavelmente, as Universidades, poderão ter-se desresponsabilizado em algum momento do seu papel de fornecer o tipo de preparação que os futuros professores precisam para ensinar ciência de forma eficaz [38].

Os resultados desta investigação estão de acordo com as observações de Viennot [52], segundo a qual: “working with teachers on critical details of classroom practice in a highly coherent and well specified overall perspective is very important”.

H₆: O desenvolvimento de metodologias sustentadas em dados de investigação sobre os modelos mentais pré-existentes dos alunos promove a mudança conceptual.

Este programa de intervenção foi edificado sobre uma importante pesquisa nacional e internacional, principalmente no que respeita aos trabalhos de investigação relacionados com as conceções alternativas e mudança conceptual. Reconhece-se que é importante analisar e implementar os questionários já usados em investigações anteriores no sentido de se saber se os nossos alunos evidenciam os mesmos modos de pensar, já encontrados e analisados. Contudo, o professor precisa mais do que tomar consciência da existência destes modelos alternati-

vos, precisa de indicadores que lhe permitam organizar a sua conduta pedagógica no sentido de providenciar uma aprendizagem mais significativa.

Apesar do desenho desta investigação não permitir quantificar a importância de cada ingrediente individual em toda a instrução, os resultados dos pós-testes mostram significativas melhoras no que concerne à mudança conceptual.

A experiência deste ensaio permite concluir que falta nos elementos de apoio aos docentes (manuais, sobretudo) informação relativa aos principais indicadores decorrentes de investigações no ensino da Física. Por outro lado, os materiais pedagógicos necessários para realizar uma lecionação eficaz vão muito para além do que é habitual encontrar em manuais: planificações rigorosas, entrosadas com atividades laboratoriais regulares, documentos de formação científica dos professores e elementos de avaliação em aula de todas as atividades, experimentais ou não.

Algumas destes pressupostos parecerão familiares, não apenas a investigadores em Educação, como até a professores experientes. Mas isso não invalida o interesse de estudos como o presente, que procuram implementar estas conclusões da investigação em didática em materiais e propostas pedagógicas concretas.

14.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência deste ensaio mostrou algumas conclusões relevantes e animadoras a fim de melhorar o ensino da Física em Portugal. Contudo, nenhuma investigação em educação é independente do contexto onde é realizada. A complexidade inerente ao processo de ensino-aprendizagem, fruto da sua dependência de fatores internos e externos à própria escola e fora do alcance da investigação, impede-nos de generalizar estes resultados, mas permite-nos apontar um caminho objetivo para o sucesso do ensino da Física em Portugal. Espera-se, deste modo, que os resultados deste estudo contribuam para o fomento de boas práticas no ensino da Física.

Uma coisa são os resultados do projeto, outra bem diferente foram os comentários que ouvimos e a leitura que deles fizemos. Uma ideia que ficou bem presente é que os professores não possuem tempo nem preparação para elaborar e gerirem um currículo. Baseiam-se em manuais e, quando muito, promovem algum experimentalismo pedagógico, sem qualquer tipo de suporte na literatura específica.

A tentativa de converter os professores em autores dos materiais curriculares, numa perspetiva de gestão do currículo, tomando como orientação a flexibilização e a diversificação curriculares, torna-se, na prática, inviável. Para cumprir este desafio precisaríamos de ter profes-

sores investigadores com um tempo letivo inferior, e cujo tempo não letivo fosse inteiramente direcionado para a investigação. Ora, como sabemos, o papel de um professor numa escola vai muito para além da sala de aula: direções de turma, aulas de substituição, projetos curriculares de turma, planos de recuperação, reuniões de departamento e subdepartamento e outras funções afins.

Estas considerações levam-nos a apoiar a ideia de que seria extremamente vantajoso para o ensino da Física (e de outras Ciências) a existência de um corpo de pessoas altamente qualificadas cientificamente, e com prática de investigação didática, e cujo trabalho na escola se dividisse entre a atividade letiva normal e ações de reflexão e estudo de conteúdos, preparação de materiais, organização de aulas laboratoriais, formação de professores, em suma, atividades semelhantes às que foram levadas a cabo neste ensaio.

As *Metas de Aprendizagem*, entretanto propostas pelo Ministério da Educação, já no decorrer desta investigação, são, na perspetiva deste estudo, um passo positivo no sentido da correção das debilidades de um sistema de ensino que não dá o suficiente relevo aos conteúdos ao privilegiar a aquisição de competências. É neste exercício de persistência reflexiva, sempre com o objetivo de melhorar o ensino em Portugal, que vale a pena apostar como instância de desenvolvimento e de progresso continuados, através da divulgação do conteúdo deste e doutros projetos bem sucedidos.

Em jeito de considerações finais, é verdade que este programa foi feito a nível local com uma amostra significativa, mas reduzida na escala educativa, e portanto, o seu sucesso pode estar relacionado com fatores como o entusiasmo de alunos e professores participantes, um fator muito conhecido pelos sociólogos como o efeito *Hawthorne* [50]. Assim, em relação às expectativas de abrangência nacional que os resultados possam induzir, importa assumir uma atitude cautelar de maior modéstia.

Para terminar, parece-nos importante dar continuidade a esta investigação procedendo a estudos ulteriores, mais profundos, incluindo os de pendor qualitativo, para complementar e enriquecer este ensaio, robustecendo algumas questões impossíveis de esclarecer com uma investigação deste cariz. Em particular seria interessante investigar mais detalhadamente algumas questões que este estudo revela:

- as razões das diferenças de ganho educativo entre os diferentes módulos; haverá assuntos intrinsecamente mais difíceis requerendo maior investimento ou estratégias diferentes das usadas aqui? Porque razão foram tão modestos os ganhos educativos em alguns módulos?

- a repetição regular de atividades laboratoriais conduz efetivamente ao desenvolvimento de competências transversais, de formulação de hipóteses, de reflexão e sentido crítico?
- os professores de Física, nomeadamente no ensino básico, estão preparados científica e pedagogicamente para os programas que lecionam?
- as Universidades portuguesas preparam os futuros professores de Física, tendo por base investigações, reconhecidas internacionalmente, realizadas nas diferentes unidades temáticas?

Part IV

APÊNDICE

PRÉ/PÓS-TESTES

A.1 MÓDULO: TERRA E SISTEMA SOLAR

1. Das afirmações seguintes, seleciona a opção correta.
 - a) Um habitante do polo Norte está à mesma distância do centro da Terra do que um habitante do equador.
 - b) Um habitante do polo Norte está a uma maior distância do centro da Terra do que um habitante do equador.
 - c) Um habitante do polo Norte está a uma menor distância do centro da Terra do que um habitante do equador.
 - d) Não é possível saber.

2. Observa as figuras seguintes.

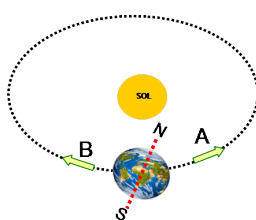


Fig. 1

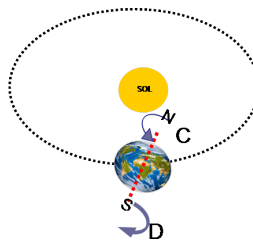


Fig.2

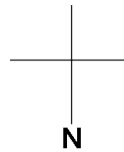
2.1 Qual o sentido do movimento de translação da Terra?

- a) É o sentido indicado pela seta A.
- b) É o sentido indicado pela seta B.
- c) Não é possível saber.
- d) Depende da época do ano que consideramos.

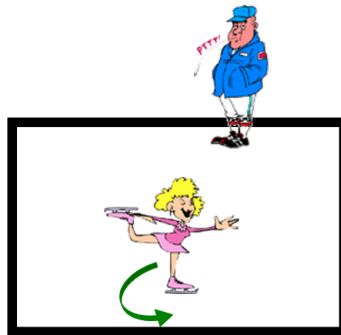
2.2 Qual o sentido do movimento de rotação da Terra?

- a) É o sentido indicado pela seta C.
- b) É o sentido indicado pela seta D.
- c) Não é possível saber.
- d) Depende da época do ano que consideramos.

3. Quem viaja para o estrangeiro, sabe que precisa de acertar o relógio, de acordo com o fuso horário respetivo. Este facto deve-se ...
- a) ao movimento de rotação do Sol em torno do seu eixo.
 - b) ao movimento de rotação da Terra em torno do seu eixo.
 - c) ao movimento de translação do Sol em torno da Terra.
 - d) ao movimento de translação do Sol em torno da Lua.
4. Completa o esquema seguinte com os pontos cardeais correspondentes.



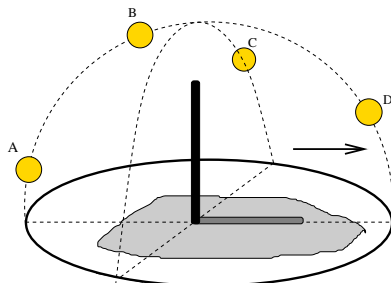
5. Uma patinadora está a fazer uma pirueta (nome dado ao movimento dos atletas quando rodam sobre o seu próprio eixo), ao mesmo tempo que o seu treinador a observa. Se a patinadora fizer uma pirueta no sentido indicado na figura, de que lado lhe aparece o treinador?



- a) O treinador surge no lado esquerdo da patinadora e, aparentemente, desloca-se para o lado direito.
- b) O treinador surge no lado direito da patinadora e, aparentemente, desloca-se para o lado esquerdo.
- c) O treinador surge no lado esquerdo da patinadora e, aparentemente, desloca-se para o lado esquerdo.
- d) O treinador surge no lado direito da patinadora e, aparentemente, desloca-se para o lado direito.

6. A Mariana reparou que sempre que fazia viagens com os pais, o comprimento da sombra do carro ia variando durante o dia. Para compreender este fenómeno, resolveu colocar uma vara no jardim. A imagem seguinte representa a situação anterior (no seu jardim, em Portugal) às 13h.

6.1 A letra que pode representar a posição do Sol naquele instante é...



- a) A.
- b) B.
- c) C.
- d) D.

6.2 Se a Mariana for ver a vara às 17h, o tamanho da sombra é...

- a) maior.
- b) menor.
- c) igual.

6.3 A afirmação: “Ao meio-dia a sombra da vara é nula”...

- a) é verdadeira.
- b) é falsa, porque é ao meio-dia solar e não ao meio-dia.
- c) é falsa, porque não podemos saber o que vai acontecer.
- d) é falsa, porque ao meio-dia solar a sombra é mínima, mas em Portugal nunca pode ser nula.

6.4 A seta apresentada na imagem representa o ponto cardeal...

- a) norte.
- b) sul.
- c) este.
- d) oeste.

7. Lê, atentamente, o texto seguinte.

DURAÇÃO DO DIA 22 DE JUNHO DE 1998

Hoje, enquanto os habitantes do hemisfério Norte celebram o seu dia mais longo, os Australianos viverão o seu dia mais curto do ano. Em Melbourne*, o Sol nascerá às 7:36 e desaparecerá no horizonte às 17:08, totalizando 9 horas e 32 minutos de dia. Compare o dia de hoje com o dia mais longo do ano no hemisfério Sul, previsto para 22 de Dezembro, em que o Sol nascerá às 5:55 e desaparecerá no horizonte às 20:42, totalizando 14 horas e 47 minutos de dia. O Presidente da Sociedade de Astronomia, Sr. Perry Vlahos, explicou que a inclinação de 23 graus, do eixo da Terra, provoca a existência de diferenças nas estações do ano entre os hemisférios Norte e Sul.

**Melbourne é uma cidade da Austrália, situada à latitude de cerca de 38 graus a sul do Equador.*

7.1 Por que motivo há a sucessão dos dias e das noites na Terra?

- a) A Terra gira em torno do seu eixo.
- b) O Sol gira em torno do seu eixo.
- c) O eixo da Terra é inclinado.
- d) A Terra gira em torno do Sol.

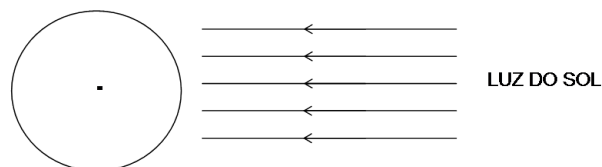
7.2 Qual a estação do ano, anterior ao dia 22 de Junho de 1998, na Austrália?

- a) Primavera;
- b) Verão;
- c) Outono;
- d) Inverno.

7.3 Em qual dos países, Portugal ou Austrália, o Sol aparecerá mais alto no horizonte?

- a) Portugal;
- b) Austrália;
- c) O Sol aparecerá aproximadamente à mesma altura em ambos os países.
- d) É impossível saber-se com os dados fornecidos.

7.4 A figura seguinte mostra raios de luz do Sol a incidirem sobre a Terra. Supõe que é o dia 22 de Junho de 1998. Marca, na figura, o eixo de rotação da Terra, o hemisfério Norte, o hemisfério Sul e o equador.



*Questões adaptadas
do programa PISA
2000*

8. Lê, atentamente, o texto seguinte.

Eclipse total da Lua visível em Portugal a 3 de Março

“Os portugueses vão poder assistir no primeiro sábado de Março ao primeiro eclipse total da Lua desde 2004, visível em toda a Europa, África e Ásia ocidental. O fenómeno terá início às 21h30 de 3 de Março, depois de a Lua entrar em penumbra às 20h18, e terminará à 01h20 dessa noite, com o eclipse total a ocorrer entre as 22h44 e as 23h58, precisou, em declarações à agência Lusa, a astrónoma Albertina do Campo, do Observatório Astronómico de Lisboa (OAL). (...)”

In Público, 2007

8.1 Para que ocorra um eclipse da Lua...

- a) a Terra, Lua e Sol têm que estar alinhados e a Lua em fase de lua nova.
- b) a Terra, Lua e Sol têm que estar alinhados e a Lua em fase de lua cheia.
- c) a Terra, Lua e Sol têm que estar alinhados e a Lua em fase de quarto crescente.
- d) a Terra, Lua e Sol têm que estar alinhados e a Lua em fase de quarto minguante.

8.2 A figura seguinte mostra um eclipse lunar. Qual das letras representa a correta posição da Lua, para ocorrer um eclipse parcial?



- a) A
- b) B
- c) C
- d) D

8.3 Vista da Terra, a Lua apresenta sempre a mesma face. Isto acontece porque...

- a) ... a Lua não possui movimento de rotação nem de translação.
- b) ... a Lua não possui movimento de rotação, mas possui movimento de translação.
- c) ... o período de rotação da Lua é igual ao seu período de translação.
- d) ... o período de rotação da Lua é maior do que o seu período de translação.

A.2 MÓDULO: MOVIMENTOS E FORÇAS

1. O João recebeu um carro telecomandado dos seus pais. Na caixa que envolvia o carro e o comando, constava uma informação que deixou o João intrigado: “Carro super rápido, chega a atingir 10km/h (2,8m/s)”. Desconfiado, o João decide planificar uma atividade experimental que lhe permita calcular a velocidade média do carro.

1.1 Qual dos seguintes cuidados o João terá de ter para conseguir resultados válidos? *(coloca um círculo à volta de cada alínea correta)*

- a) Fazer uma marcação no solo para o local de partida e para o local de chegada.
- b) Repetir as provas mais do que uma vez.
- c) Fazer a experiência em vários pontos da sala.
- d) Repetir a experiência a várias horas distintas.
- e) Certificar-se de que o piso utilizado para a experiência está completamente horizontal.
- f) Certificar-se que usa pilhas novas.

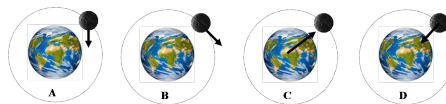
1.2 Do material apresentado, seleciona o necessário para a realização da atividade. *(coloca um círculo à volta de cada alínea correta)*

- a) Relógio de pulso;
- b) cronómetro;
- c) máquina fotográfica;
- d) fita métrica;
- e) dinamómetro;
- f) balança.

1.3 O João realizou a experiência, numa pista de carros, com 3m de comprimento, e obteve um tempo de 2s. Sabendo que a pista é retilínea e que o carro não efetuou inversão de marcha, a informação contida na caixa era verdadeira? *(seleciona a opção correta)*

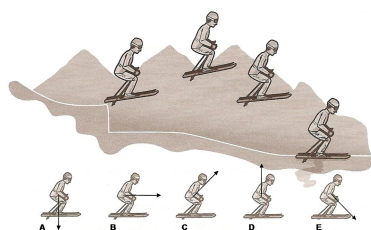
- a) Sim.
- b) Não.
- c) É impossível saber-se com os dados fornecidos.

2. Um caminhão embateu num carro. Podemos afirmar que... *(seleciona a opção correta)*
- a) a força exercida pelo caminhão no carro, durante a colisão, é maior do que a força que o carro exerceu no caminhão.
 - b) a força exercida pelo caminhão no carro, durante a colisão, é menor do que a força que o carro exerceu no caminhão.
 - c) a força exercida pelo caminhão no carro, durante a colisão, é igual à força que o carro exerceu no caminhão.
 - d) É impossível saber-se.
3. Um barco encontra-se parado (relativamente à água) nas águas frias de um rio nórdico. Isto significa que... *(seleciona a opção correta)*
- a) como o barco está parado, não há qualquer tipo de força a atuar nele.
 - b) a soma de todas as forças que atuam no barco é nula.
 - c) as forças que atuam no barco não são suficientemente intensas para movê-lo.
 - d) a soma de todas as forças que atuam no barco, na direção vertical, não é nula, mas na horizontal é nula.
4. Dos esquemas abaixo apresentados, indica o que representa corretamente a força que a Terra exerce sobre a Lua.

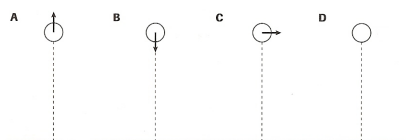


- a) A;
- b) B;
- c) C;
- d) D.

5. A figura seguinte mostra um esquiador durante um salto. Escolhe o esquema que melhor representa as forças que atuam no esquiador **durante o salto**.



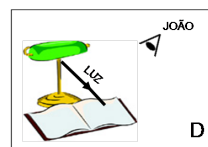
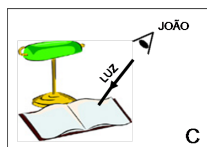
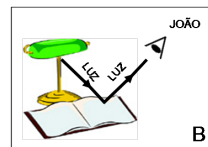
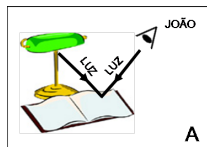
- a) A;
b) B;
c) C;
d) D;
e) E.
6. Uma bola de ténis foi lançada ao ar. Dos esquemas seguintes, seleciona aquele que traduz a **força exercida na bola no ponto mais alto da trajetória**.



- a) A;
b) B;
c) C;
d) D.

A.3 MÓDULO: CARACTERÍSTICAS E COMPORTAMENTO DA LUZ

1. Qual das opções seguintes pode representar o percurso efetuado pela luz, permitindo ao João ler o livro?



- a) A;
b) B;
c) C;
d) D.

2. O Manuel encontra-se num enorme armazém com 400m de comprimento **completamente escuro e vazio**.

2.1 O Manuel liga a lanterna, mas não consegue ver o fundo do armazém. Porquê?

- a) Porque a luz chega no máximo a uma distância de 20m.
b) Porque a luz chega no máximo a uma distância de 200m.
c) Uma vez que a parede é preta, a luz refletida por esta tem uma intensidade muito baixa para ser detetada pelos olhos do Manuel.
d) Porque a potência da lanterna é tão baixa, que a luz não consegue viajar a grandes distâncias.

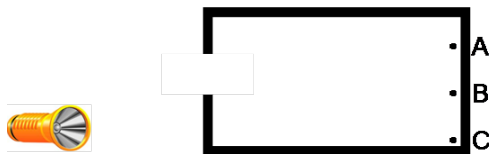
2.2 Em vez da lanterna, o Manuel acende uma vela. Até que distância “viaja” a luz da vela?

- a) A luz chega no máximo a uma distância de 50m.
b) A luz chega no máximo a uma distância de 100m.
c) A luz ilumina todos os 400m.
d) Depende da qualidade da vela.

2.3 Imagina que o Manuel acende um cigarro no referido armazém. O que acontece à luz emitida pelo cigarro?

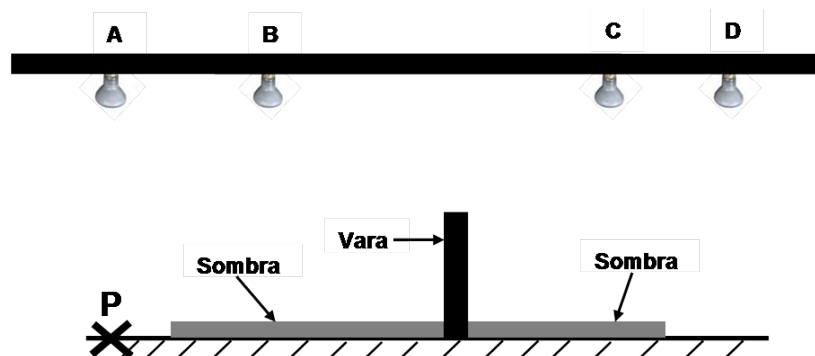
- a) A luz fica no cigarro.
- b) A luz emitida pelo cigarro percorre os 400m, isto é, “viaja” até ao final do armazém.
- c) A luz emitida pelo cigarro chega no máximo a uma distância de 1m.
- d) A luz emitida pelo cigarro percorre, no máximo, 200m.

3. A figura seguinte mostra uma lanterna colocada em frente a uma caixa que possui uma abertura no seu lado esquerdo. Que região da parte direita da caixa é iluminada diretamente pela lanterna?



- a) Região A;
- b) região B;
- c) regiões A, B e C;
- d) Nenhuma região é iluminada.

4. Imagina uma sala vazia. No teto da sala estão aplicadas quatro fontes de luz. Destas, apenas duas estão ligadas.



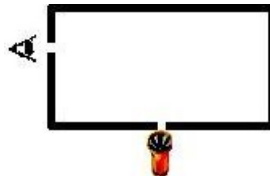
4.1 Selecciona as luzes que te parecem estar ligadas de forma a obter as sombras apresentadas.

- a) B e D;
- b) A e D;
- c) B e C;
- d) A, B, C e D.

4.2 Considera o ponto P. Selecciona as luzes que, ligadas, iluminam diretamente este ponto.

- a) A e B;
- b) A e C;
- c) A e D;
- d) A, B e C.

5. Imagina que espreitas para uma sala completamente escura e pintada de preto. Na sala não existe nada para além das paredes. Se se fizer incidir luz por outro orifício muito pequeno, tal como mostra a figura, consegues ver a luz emitida?

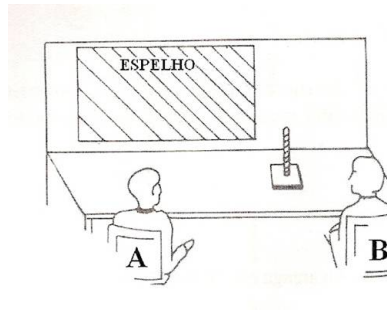


- a) Sim, porque embora a luz não possa incidir diretamente no olho humano, consegue ser captada pelo olho.
- b) Sim, porque a luz incide diretamente no olho.
- c) Não, porque não existe nenhum objeto dentro da sala que possa refletir a luz proveniente da lanterna.
- d) Não porque a luz não consegue “viajar” num ambiente escuro.

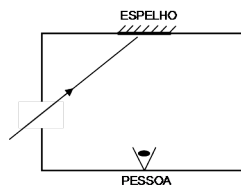
A.4 MÓDULO: ESPELHOS PLANOS

1. A figura seguinte mostra um objeto que se encontra além da borda direita de um espelho plano. Os observadores A e B podem ver a **imagem** do objeto?

*Questões adaptadas
de Goldberg e
McDermott [85]*

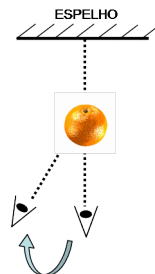


- a) Sim, ambos podem.
b) O observador A pode ver a imagem, mas o observador B não.
c) O observador A não pode ver a imagem, mas o observador B pode.
d) Não, nenhum dos observadores pode ver a imagem.
2. A figura abaixo mostra uma sala completamente escura, sem pó, sem fumo e de **paredes totalmente negras**. Através de um orifício, faz-se incidir um feixe retilíneo de luz obliquamente em direção ao espelho. Uma pessoa na parede oposta à do espelho, como mostra a figura, poderá ver o espelho e a luz nele refletida?



- a) A pessoa não poderá ver o espelho nem a luz nele refletida.
b) A pessoa poderá ver a luz, mas não poderá ver o espelho.
c) A pessoa poderá ver o espelho, mas não a luz.
d) A pessoa poderá ver a luz e o espelho.

3. O desenho seguinte mostra um observador parado em frente a um espelho plano. Entre o espelho e o observador encontra-se uma laranja. Se o observador se mover para a esquerda, o que acontecerá com a imagem da laranja?



- a) A imagem da laranja permanecerá no mesmo lugar onde estava.
 b) A imagem da laranja deslocar-se-á para a esquerda do observador.
 c) A imagem da laranja deslocar-se-á para a direita do observador.
 d) É impossível saber-se.
4. Imagina que estás em frente a um espelho plano com o braço esticado, de forma a não o conseguires ver. Se te afastares do espelho, efetuando uns passos para trás sempre na mesma direção, consegues ver o braço?
- a) Sim.
 b) Não.
 c) Depende do espelho.
 d) É impossível saber-se.
5. Considera a letra “L” desenhada numa folha de papel.
- 5.1 Se colocares a folha à frente de um espelho plano, qual a imagem vista por ti através do espelho?



- a) I;
 b) II;
 c) III;
 d) IV;
 e) V.

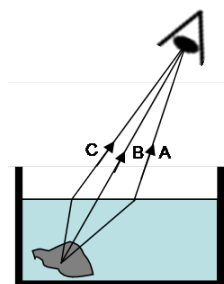
5.2 Se fotografares a folha, qual a imagem obtida na fotografia?



- a) I;
- b) II;
- c) III;
- d) IV;
- e) V.

A.5 MÓDULO: REFRAÇÃO

1. A Maria deixou cair uma pedra num copo opaco com água, tal como mostra a figura. O raio de luz que permite à Maria ver a pedra é...



- a) o A.
b) o B.
c) o C.
d) É impossível saber-se.
2. A Maria colocou uma moeda no fundo de um copo de paredes opacas, de tal forma que não podia ser vista, tal como mostra a figura. Seguidamente, a Maria colocou água no copo, mantendo-se na mesma posição. A moeda passou a ser vista?



- a) A Maria passou a ver a moeda, porque a água amplia a luz.
b) A Maria passou a ver a moeda, porque a luz sofre um desvio quando muda de meio.
c) A Maria não conseguiu ver a moeda, porque o corpo é opaco e a luz refletida pela moeda sofre reflexões na água.
d) A Maria não conseguiu ver a moeda, porque a luz refletida pela moeda é refletida na água.

3. Uma pessoa à beira de um lago aponta uma espingarda para um peixe submerso. Admitindo que a bala tenha uma trajetória retilínea dirigida segundo o cano da arma, pode prever-se que...
- a) a bala passa por cima do peixe.
 - b) a bala passa por baixo do peixe.
 - c) a bala atinge o peixe.
 - d) É impossível saber-se.
4. Imagina que o professor projeta (com um retroprojektor) um acetato, numa tela. Se a tela onde é projetada a imagem for retirada e o professor não mexer no retroprojektor, o que acontece à imagem?
- a) Deixa de existir imagem, se não houver uma superfície que reflita a luz.
 - b) A imagem forma-se nitidamente, na parede que estiver atrás, e aparece com um tamanho maior.
 - c) A imagem forma-se nitidamente, na parede que estiver atrás, e aparece com um tamanho menor.
 - d) Como a imagem se forma à frente da lente do retroprojektor, a inexistência da tela em nada interfere, pelo que a imagem continuará a ser vista, na mesma posição.
5. Deseja-se concentrar a luz do Sol num ponto, para se obter um forno solar. O material mais adequado para esta tarefa é...
- a) um espelho plano.
 - b) uma lente convergente.
 - c) uma lente divergente.
 - d) um espelho convexo.
6. O arco-íris é um fenómeno fascinante, permitindo-nos ver, em determinadas circunstâncias, um céu colorido.
- 6.1 O fenómeno do arco-íris ocorre apenas em dias de chuva porque as gotículas de água da atmosfera...
- a) decompõem a luz do Sol.
 - b) refletem a luz do Sol.
 - c) absorvem a luz do Sol.
 - d) tornam-se coloridas pela luz do Sol.

6.2 O arco-íris. . .

- a) é sempre visto, qualquer que seja a posição do observador.
- b) só pode ser visto quando se está de costas para o Sol e de frente para as gotas de chuva.
- c) só pode ser visto quando se está de frente para o Sol e de costas para as gotas de chuva.
- d) só pode ser visto quando se está de frente para o Sol e para as gotas de chuva.

A.6 MÓDULO: A COR

Antes de iniciares o questionário, damos-te uma pequena ajuda...

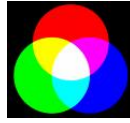


Fig. 1 - Sobreposição de feixes luminosos

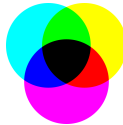


Fig. 2 - Sobreposição de filtros

1. Considera uma planta completamente verde à luz do dia. Se a colocarmos num quarto escuro e sobre ela fizermos incidir uma luz vermelha, o que vai ocorrer?
 - a) A planta continua verde, porque a cor de um objeto é uma propriedade desse objeto.
 - b) Como o vermelho é mais escuro do que o verde e as cores escuras tapam as cores claras, a planta fica vermelha.
 - c) A cor da luz mistura-se com a cor da planta, fazendo com que esta mude de cor.
 - d) A luz dá a sua cor ao objeto, passando a planta de verde para vermelho.
 - e) A planta é verde, porque absorve as outras cores, que não a verde. Assim, absorve vermelho e fica preta.

2. Durante uma peça de teatro, antes dos atores entrarem em cena, foram projetados dois holofotes, um vermelho e um verde, para uma mesma região do palco, de forma a se sobreponem as duas luzes. Que cor resultou da sobreposição?
 - a) Vermelho;
 - b) verde;
 - c) amarelo;
 - d) castanho;
 - e) preto.

Justifica a tua escolha.

3. Menciona oito cores que conheças.

4. A banana é um fruto de cor amarela, quando iluminada à luz natural. Se a colocarmos num quarto sem luz, em qual destes casos, a banana aparecerá preta? Quando é iluminada por:
- a) luz vermelha;
 - b) luz verde;
 - c) luz azul;
 - d) luz amarela;
 - e) Jamais ficará preta, quando sobre ela incide uma luz.
5. Num quarto completamente escuro, uma lanterna que emite luz azul incide numa caneta de cor amarela. Como aparecerá a sombra formada?
- a) Vermelha;
 - b) verde;
 - c) amarela;
 - d) castanha;
 - e) preta.
6. “À noite todos os gatos são pardos.” Quem nunca ouviu esta expressão? Ela significa que à noite todos os gatos parecem iguais e com uma cor acinzentada. Isto acontece porque...
- a) os objetos mudam de cor, quando não são iluminados.
 - b) a baixas intensidades luminosas, o nosso sistema visual não permite perceber a cor.
 - c) como à noite os objetos não são iluminados, eles adquirem sempre a cor cinzenta.
 - d) à noite os gatos mudam de cor.
 - e) A afirmação é falsa. Os gatos têm a mesma cor, só não os conseguimos ver.
 - f) à noite a luz é preta, por isso os gatos ficam pretos.
7. A Ana realizou duas experiências. Na primeira, misturou com um pincel, a tinta de dois guaches, um vermelho e outro verde. Após ter misturado as tintas, resolveu projetar numa parede branca da sua casa duas luzes de cor vermelho e verde. Que resultados a Ana obteve?
- a) Quando misturou as tintas, a Ana obteve a cor castanho, mas, quando misturou luzes, obteve amarelo.
 - b) Nos dois casos, a Ana obteve a mesma cor, mas com tonalidades diferentes.
 - c) Nos dois casos, a Ana obteve a mesma cor: castanho.
 - d) Quando misturou as duas tintas, a Ana obteve castanho, mas, quando misturou luzes, obteve ciano.

QUESTIONÁRIO - PROFESSORES

Escola:

Ano:

Este questionário destina-se a conhecer a opinião dos professores que participaram no projeto: *Ensaio prático dos princípios do movimento Core Knowledge aplicado ao ensino da Física em Portugal*. Para isso, pedimos que reflita sobre as principais linhas orientadoras do projeto e sua execução através das formações que teve e das aulas preparadas a que teve acesso. É importante que reflita também sobre o papel das atividades laboratoriais na construção do conhecimento por parte dos alunos.

Deve ter atenção os resultados dos alunos (em testes escritos) e é inevitável que faça uma comparação com as metodologias aplicadas por si em anos anteriores para que consiga analisar, em consciência, as vantagens e desvantagens do método aplicado neste projeto.

Das questões 1 à 4, selecione com uma cruz, a opção que considerar mais adequada.

1. Como avalia a importância das seguintes características do projeto?

1.1 A formação que recebeu.

- a) Nada importante ☐
- b) Pouco importante ☐
- c) Importante ☐
- d) Muito importante ☐

1.2 As planificações escritas com listagem de objetivos.

- a) Nada importante ☐
- b) Pouco importante ☐
- c) Importante ☐
- d) Muito importante ☐

1.3 As atividades laboratoriais na formação académica dos alunos.

- a) Nada importante ☐

- b) Pouco importante ☐
- c) Importante ☐
- d) Muito importante ☐

1.4 A resolução, pelos alunos, de uma ficha de avaliação sobre a atividade laboratorial.

- a) Nada importante ☐
- b) Pouco importante ☐
- c) Importante ☐
- d) Muito importante ☐

1.5 A divisão das aulas laboratoriais em estações experimentais com duração previamente determinada.

- a) Nada importante ☐
- b) Pouco importante ☐
- c) Importante ☐
- d) Muito importante ☐

1.6 A existência de *Kits* nas atividades práticas.

- a) Nada importante ☐
- b) Pouco importante ☐
- c) Importante ☐
- d) Muito importante ☐

2. Em comparação com anos anteriores, como avalia o tipo de prática letiva deste projeto no que respeita ao abandono das conceções alternativas por parte dos alunos?

- a) Muito menos eficaz ☐
- b) Menos eficaz ☐
- c) Mais eficaz ☐
- d) Muito mais eficaz ☐

3. Comparando com a sua prática letiva anterior, como avalia este projeto no que respeita à solidez do conhecimento adquirido por parte do aluno?

- a) Muito menos eficaz ☐
- b) Menos eficaz ☐
- c) Mais eficaz ☐
- d) Muito mais eficaz ☐

4. Se tiver acesso aos materiais pedagógicos (incluindo os *Kits*) nos próximos anos letivos, tenciona voltar a usá-los?
- a) Sim ☐
- b) Não ☐
5. Indique os principais problemas que sentiu ao aplicar este tipo de metodologia.
6. O que alteraria no projeto?

–FIM–

BIBLIOGRAFIA

- [1] Walter Isaacson. *Einstein*. Casa das Letras, 2008. (Citado nas pg. ix e 11.)
- [2] Departamento da Educação Básica. *Gestão flexível do currículo*. Lisboa, 1998. (Citado na pg. 3.)
- [3] Jacques Delors. *Educação: Um Tesouro a Descobrir*. Edições Asa, 1999. (Citado na pg. 3.)
- [4] Core Knowledge Foundation. Site oficial da fundação Core Knowledge. URL <http://coreknowledge.org>. (Citado nas pg. 4 e 32.)
- [5] Luiz Roberto Salinas Forte. *Rousseau: da teoria à prática*. Ática, São Paulo, 1976. (Citado na pg. 8.)
- [6] E. D. Hirsch. *The schools we need and why we don't have them*. Doubleday, 1999. (Citado nas pg. 9, 11, 12, 13, 33, e 46.)
- [7] Isabel Martins. Problemas e perspectivas sobre a investigação CTS no Sistema Educativo Português. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 1(1), 2002. (Citado na pg. 10.)
- [8] Projeto Salters. URL <http://www.york.ac.uk/org/seg/salters/physics/>. (Citado na pg. 10.)
- [9] J. Solomon. Social influences on the construction of pupils understanding of science. *Studies in Science Education*, 14:63–82, 1987. (Citado na pg. 10.)
- [10] J. Solomon. The rise and fall of constructivism. *Studies in Science Education*, 23:1–19, 1994. (Citado na pg. 10.)
- [11] J Solbes e A. Vilches. El modelo constructivista y las relaciones ciencia / técnica / sociedad (CTS). *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2):181–186, 1992. (Citado na pg. 10.)
- [12] J. Brophy e T. Good. *Teacher behavior and student achievement*. 3. M. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching*. Macmillan, New York, 1986. (Citado nas pg. 10 e 15.)
- [13] Edward F. Redish. Implications of cognitive studies for teaching physics. *American Journal of Physics*, 62(9):796–803, 1994. (Citado na pg. 10.)
- [14] G. M. Novack, E. T. Patterson, A. D. Gavrin e W. Christian. *Just in Time Teaching*. Prentice-Hall NJ, 1999. (Citado na pg. 10.)

- [15] Eric Mazur. *Peer Instruction: a user's manual*. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 1997. (Citado nas pg. 10 e 62.)
- [16] Alan Van Heuvelen e Eugenia Etkina. *Active Learning Guide*. Addison-Wesley, 2006. (Citado na pg. 10.)
- [17] Jeanne S. Chall. *What Really works in the Classroom*. The Guilford Press, 2000. (Citado na pg. 11.)
- [18] Diane Ravitch. In need of a renaissance - real reform will renew, not abandon, our neighborhood schools. *American Educator*, 34 (2), 2010. (Citado nas pg. 12 e 46.)
- [19] E. D. Hirsh. *Cultural Literacy: What Every American Needs to Know*. Houghton Mifflin, Boston, 1987. (Citado na pg. 13.)
- [20] Pasco Rakic. URL <http://rakiclab.med.yale.edu/>. (Citado na pg. 14.)
- [21] José Maria Quintana Cabanas. *La Educación está Enferma: Informe Pedagógico sobre la Educación Actual*. Nau Llibres, 2004. (Citado na pg. 14.)
- [22] Diane Ravitch. *Left Back: a century of failed school reforms*. Simon & Schuster, New York, 2000. (Citado na pg. 14.)
- [23] Alan Cromer. *Physics, Philosophy, and Education*. Plenum Press, New York, 1995. (Citado nas pg. 15 e 16.)
- [24] Alan Cromer. *Connected knowledge, Science, Philosophy and Education*. Oxford University Press, 1993. (Citado na pg. 16.)
- [25] Ciência Viva. Site oficial do programa Ciência Viva. URL <http://www.fct.mctes.pt/pt/cienciaviva/>. (Citado na pg. 18.)
- [26] GAVE. Resultados do estudo internacional Pisa 2003, 2004. URL <http://www.gave.min-edu.pt/np3/11.html>. (Citado na pg. 19.)
- [27] Nuno Crato. *O Eduquês em discurso directo*. Gradiva, 1993. (Citado nas pg. 19, 20, 26, e 27.)
- [28] Maria Filomena Mónica. *Os Filhos de Rousseau - Ensaio sobre os exames*. Relógio d'Água Editores, 1997. (Citado na pg. 19.)
- [29] Gabriel Mithá Ribeiro. *A pedagogia da avestruz*. Gradiva, 2004. (Citado nas pg. 20, 36, e 37.)
- [30] Maria do Carmo Vieira. *O Ensino do Português*. Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2010. (Citado na pg. 21.)

- [31] C. Galvão (Coord.), A. Neves, A. M. Freire, A. M. Lopes, C. Santos, M. C. Veleila, M. T. Oliveira e M. Pereira. *Ciências Físicas e Naturais. Orientações curriculares para o 3.º ciclo do ensino básico*. Ministério da Educação, Departamento da Educação Básica, Lisboa, 2001. (Citado nas pg. 23, 24, 57, 87, 122, 143, 161, e 180.)
- [32] Conselho Nacional de Educação, editor. *Ciência e Educação em Ciência*. Lisboa, 2005. (Citado nas pg. 25 e 41.)
- [33] Carlos Fiolhais. Educação Científica: os males e os remédios. *Público*, 5 de Outubro de 1997. (Citado nas pg. 26 e 37.)
- [34] Isabel Alçada. Metas de Aprendizagem, 2010. URL <http://www.metasdeaprendizagem.min-edu.pt/>. (Citado na pg. 28.)
- [35] Direcção Geral de Inovação e Desenvolvimento Curricular, Ministério da Educação. Metas de aprendizagem, 2010. URL <http://www.metasdeaprendizagem.min-edu.pt/ensino-basico/metas-de-aprendizagem/metas/?area=31&level=6>. (Citado na pg. 28.)
- [36] Américo Nuno Peres. URL <http://www.fenprof.pt/?aba=27&cat=141&doc=105&mid=115>. (Citado na pg. 35.)
- [37] Arnold B. Arons e L. C. McDermott. Teachers of physics in our schools. *Am. J. Phys.*, 60:103, 1992. (Citado na pg. 37.)
- [38] Lillian C. McDermott. A perspective on teacher preparation in physics and other sciences: The need for special science courses for teachers. *American Journal of Physics*, 58(8):734–742, 1990. (Citado nas pg. 37 e 191.)
- [39] Eugenia Etkina. Pedagogical content knowledge and preparation of high school physics teachers. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 6(2):020110, 2010. (Citado na pg. 37.)
- [40] Projeto Faraday. Portal do Projeto Faraday. URL <http://www.fc.up.pt/faraday>. (Citado na pg. 37.)
- [41] Anabela Martins, Adriano Sampaio, Ana Paula Gravito, Décio Martins, Edite Fiúza, Isabel Malaquias, Maria Manuela Silva, Margarida Neves, Margarida Valadares, Maria da Conceição Costa, Miquelina Mende e Rolando Soares. *Livro Branco da Física e Química 2003*. Fundação Calouste Gulbenkian, 2005. (Citado nas pg. 38, 40, e 41.)
- [42] Richard R. Hake. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1):64–74, 1998. (Citado na pg. 39.)

- [43] Patricia Heller, Ronald Keith e Scott Anderson. Teaching problem solving through cooperative grouping. part 1: Group versus individual problem solving. *American Journal of Physics*, 60(7): 627–636, 1992. (Citado nas pg. 39 e 67.)
- [44] Eugenia Etkina, Anna Karelina e Maria Ruibal-Villasenor. How long does it take? a study of student acquisition of scientific abilities. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 4(2):020108, 2008. (Citado nas pg. 39, 40, 64, 70, e 141.)
- [45] Luis Dourado. Concepções e práticas dos professores de Ciências Naturais relativas à implementação integrada do trabalho laboratorial e de campo. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 5(1):193–212, 2006. (Citado na pg. 40.)
- [46] Maria Odete Valente. *Ensino Experimental e Construção de Saberes*. Conselho Nacional de Educação, Lisboa, 1999. (Citado na pg. 40.)
- [47] Laurinda Leite. *Contributos para uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das Ciências*, volume 1. ME-DES, 2001. (Citado na pg. 42.)
- [48] Luisa Alonso (Coordenadora), Helena Peralta e Vitor Alaiz. *Parecer sobre o projecto de Gestão Flexível do Currículo*. 2001. (Citado na pg. 46.)
- [49] Hermano Carmo e Manuela Malheiro Ferreira. *Metodologia de Investigação - Guia para auto-aprendizagem*. Universidade Aberta, Lisboa, 2008. (Citado nas pg. 47 e 59.)
- [50] Bruce W. Tuckman. *Manual de Investigação em Educação: como conceber e realizar o processo de investigação em educação*. Fundação Calouste Gulbenkian, 2000. (Citado nas pg. 47, 59, e 193.)
- [51] Arnold B. Arons. *Generalization to be drawn from results of research on teaching and learning*. Plenum Press, New York, 1995. (Citado na pg. 50.)
- [52] Laurence Viennot. *Teaching Physics*. Kluwer Academic Publishers, 2002. (Citado nas pg. 55, 81, 132, 133, 172, e 191.)
- [53] Maria Ferrão. E-assessment within the bologna paradigm: evidence from Portugal. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 35(7):819–830, 2010. (Citado na pg. 56.)
- [54] João Maroco. *Análise Estatística - Com utilização do SPSS*. Edições Sílabo, Lisboa, 2007. (Citado nas pg. 58 e 75.)
- [55] António Cachapuz. *O Ensino das Ciências para a excelência da aprendizagem*, pages 349–385. Porto Editora, 1995. (Citado na pg. 61.)

- [56] Mariana G. Hewson e Peter W. Hewson. Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(8): 731–743, 1983. (Citado na pg. 62.)
- [57] Arnold B. Arons. *Teaching introductory physics*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997. (Citado na pg. 62.)
- [58] Lillian C. McDermott. *Physics by Inquiry*. John Wiley & Sons, Inc., 1996. (Citado na pg. 62.)
- [59] David R. Sokoloff e Ronald K. Thornton. Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. *The Physics Teacher*, 35(6):340–347, 1997. (Citado na pg. 62.)
- [60] David Sang, editor. *Teaching secondary physics*. John Murray, London, 2000. (Citado nas pg. 62, 153, 154, 171, e 172.)
- [61] S. Vosniadou. *On the nature of naive physics*, pages 61–76. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002. (Citado nas pg. 62 e 63.)
- [62] M. T. H. Chi. *Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift.*, pages 61–82. Erlbaum, Hillsdale, NJ, 2008. (Citado na pg. 62.)
- [63] M. T. H. Chi e R. D. Roscoe. *The process and challenges of conceptual change*, pages 3–27. Kluwer, Dordrecht, 2002. (Citado nas pg. 62 e 63.)
- [64] David Hestenes e Ibrahim Abou Halloun. The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53 (11):1043–1055, 1985. (Citado na pg. 62.)
- [65] George J. Posner, Kenneth A. Strike, Peter W. Hewson e William A. Gertzog. Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2):211–227, 1982. (Citado nas pg. 62 e 135.)
- [66] Peter W. Hewson e Mariana G. A'Beckett Hewson. The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, 13(1):1–13, 1984. (Citado na pg. 62.)
- [67] A. A. DiSessa. *Why conceptual ecology is a good idea*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002. (Citado na pg. 63.)
- [68] Randy L. Bell e Kathy Cabe Trundle. The use of a computer simulation to promote scientific conceptions of moon phases. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(3):346–372, 2008. (Citado na pg. 63.)

- [69] Mei-Hung Chiu e Jing-Wen Lin. Promoting fourth graders' conceptual change of their understanding of electric current via multiple analogies. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(4): 429–464, 2005. (Citado na pg. 63.)
- [70] Ali Eryilmaz. Effects of conceptual assignments and conceptual change discussions on students' misconceptions and achievement regarding force and motion. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(10):1001–1015, 2002. (Citado na pg. 63.)
- [71] Mansoor Niaz, Damarys Aguilera, Arelys Maza e Gustavo Liendo. Arguments, contradictions, resistances, and conceptual change in students' understanding of atomic structure. *Science Education*, 86(4):505–525, 2002. (Citado na pg. 63.)
- [72] Antti Savinainen, Philip Scott e Jouni Viiri. Using a bridging representation and social interactions to foster conceptual change: Designing and evaluating an instructional sequence for newton's third law. *Science Education*, 89(2):175–195, 2005. (Citado na pg. 63.)
- [73] P. Black e D. Wiliam. Assessment and classroom learning. *Assessment in Education*, 5(1):7, 1998. (Citado na pg. 66.)
- [74] Tomi Jaakkola, Sami Nurmi e Koen Veermans. A comparison of students' conceptual understanding of electric circuits in simulation only and simulation-laboratory contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(1):71–93, 2011. (Citado na pg. 69.)
- [75] Dorothy Langley, Miky Ronen e Bat-Sheva Eylon. Light propagation and visual patterns: Preinstruction learners' conceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(4):399–424, 1997. (Citado nas pg. 81 e 132.)
- [76] Fred Goldberg, Igal Galili e Sharon Bendal. Prospective elementary teachers' prior knowledge about light. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9):1169–1187, 1993. (Citado na pg. 81.)
- [77] Tony Fetherstonhaugh e David F. Treagust. Students' understanding of light and its properties: Teaching to engender conceptual change. *Science Education*, 76:653–672, 1992. (Citado na pg. 81.)
- [78] C. La Rosa, M. Mayer, P. Patrizi e M. Vicentini-Missoni. Common-sense knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into the properties of light. *European Journal of Science Education*, 6:387–397, 1984. (Citado na pg. 81.)
- [79] Jonathan F. Osborne, Paul Black, John Meadows e Maureen Smith. Young children's (7–11) ideas about light and their development.

International Journal of Science Education, 15(1):83 – 93, 1993. (Citado nas pg. 81 e 132.)

- [80] José Paulo Gircoreano e Jesuína L. Pacca. O ensino da Óptica na perspectiva de compreender a luz e a visão. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 18(1):26–40, Abril 2001. (Citado nas pg. 82 e 87.)
- [81] João B. S. Harres. Um teste para detectar concepções alternativas sobre tópicos introdutórios de óptica geométrica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 10(3):220–234, 1993. (Citado nas pg. 87, 115, e 122.)
- [82] Kenneth W. Ford. Why is your image in a plane mirror inverted left-to-right but not top-to-bottom? *The Physics Teacher*, 13(4): 228–229, 1975. (Citado nas pg. 97, 100, e 101.)
- [83] Igal Galili, Fred Goldberg e Sharon Bendall. Some reflections on plane mirrors and images. *The Physics Teacher*, 29(7):471–477, 1991. (Citado nas pg. 97 e 100.)
- [84] Igal Galili e Fred Goldberg. Left-right conversions in a plane mirror. *The Physics Teacher*, 31(8):463–466, 1993. (Citado nas pg. 97 e 100.)
- [85] Fred M. Goldberg e Lillian C. McDermott. Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror. *The Physics Teacher*, 24(8):472–481, 1986. (Citado nas pg. 97, 100, 105, 106, 107, e 209.)
- [86] American Institute of Physics. Site Oficial do American Institute of Physics. URL <http://amasci.com/miscon/opphys.html>. (Citado nas pg. 97, 107, 115, 153, e 171.)
- [87] David R. Lapp. Determining plane mirror image distance from eye charts. *The Physics Teacher*, 31(1):59–59, 1993. (Citado na pg. 98.)
- [88] Martin Gardner. *The Ambidextrous Universe*. Basic Books, Inc., New York, 1964. (Citado na pg. 101.)
- [89] Walter Thumm. Questions some students ask ... *The Physics Teacher*, 10(6):346–346, 1972. (Citado na pg. 101.)
- [90] Entrevista com Richard Feynman (video). British Broadcasting Corporation. URL <http://www.bbc.co.uk/archive/feynman/10703.shtml>. (Citado na pg. 101.)
- [91] Fred M. Goldberg e Lillian C. McDermott. An investigation of student understanding of the real image formed by a converging

- lens or concave mirror. 55(2):108–119, 1987. (Citado nas pg. 115, 120, e 129.)
- [92] Rômulo de Carvalho. *A Física no dia-a-dia*. Relógio d'Água Editores, 1995. (Citado na pg. 121.)
- [93] Elsa Feher e Karen Rice Meyer. Children's conceptions of color. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(5):505, 1992. (Citado nas pg. 131, 132, e 135.)
- [94] Laurinda Leite e Susana Sá. Cor, óptica e pintura. *Gazeta da Física*, 20:17–21, 1997. (Citado nas pg. 131 e 133.)
- [95] Lawrence D. Woolf. Confusing color concepts clarified. *The Physics Teacher*, 37, April 1999. (Citado na pg. 131.)
- [96] A. B. Saxena. The understanding of the properties of light by students in india. *International Journal of Science Education*, 13(3): 283 – 289, 1991. (Citado na pg. 132.)
- [97] N. J. Selley. Children's ideas on light and vision. *International Journal of Science Education*, 18(6):713 – 723, 1996. (Citado na pg. 132.)
- [98] D. Michael Watts. Student conceptions of light: a case study. *Physics Education*, 20(4):183, 1985. (Citado na pg. 132.)
- [99] J. M. G. Lammens. *A computational model of color perception and color naming*. PhD thesis, 1994. (Citado na pg. 132.)
- [100] Heinrich Zollinger. *Color: a multidisciplinary approach*. Wiley - VCH, 2000. (Citado na pg. 132.)
- [101] Robert M. Boynton. *Human color perception*, chapter 8, pages 211–253. Springer-Verlag, New York, 1990. (Citado na pg. 132.)
- [102] G. Wyszecki e W. S. Stiles. *Color Science*. Wiley, New York, 1982. (Citado na pg. 132.)
- [103] V Ronchi. *Optics: The Science of Vision*. Dover Publications Inc., New York, 1991. (Citado na pg. 132.)
- [104] K. N. Leibovic. *Vetebrate photoreceptores*, chapter 2, pages 16–52. Springer-Verlag, New York, 1990. (Citado na pg. 132.)
- [105] Arne Valberg. *Light Vision Color*. John Wiley & Sons Ltd, 2005. (Citado na pg. 132.)
- [106] F. Chauvet. Teaching colour: designing and evaluation of a sequence. *European Journal of Teacher Education*, 19(2):121–136, 2006. (Citado nas pg. 132 e 133.)

- [107] A Villani e J. L.A. Pacca. *Scientific Knowledge and Teaching Ability, in Thinking Physics for Teaching*. Plenum Press, NY, 1996. (Citado na pg. 135.)
- [108] Henry R. Kang. *Computational Color Technology*. SPIE Press, 2006. (Citado na pg. 136.)
- [109] Arbor Scientific. Site oficial da Arbor Scientific. URL <http://www.arborsci.com/>. (Citado nas pg. 140 e 141.)
- [110] Robert Gardner. Colored lights and shadows. *The Physics Teacher*, 16, October 1978. (Citado nas pg. 140 e 142.)
- [111] Eugenia Etkina, Alan Van Heuvelen, Suzanne White-Brahmia, David T. Brookes, Michael Gentile, Sahana Murthy, David Rosengrant e Aaron Warren. Scientific abilities and their assessment. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 2(2):020103, 2006. (Citado na pg. 141.)
- [112] Eugenia Etkina, Sahana Murthy e Xueli Zou. Using introductory labs to engage students in experimental design. *American Journal of Physics*, 74(11):979–986, 2006. (Citado na pg. 141.)
- [113] I. Halloun e D. Hestenes. Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, pages 1056–1065, 1985. (Citado nas pg. 171 e 186.)
- [114] David E. Trowbridge e Lillian C. McDermott. Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *Am. J. Phys.*, 48(12):1020–1028, 1980. (Citado na pg. 172.)
- [115] David E. Trowbridge e Lillian C. McDermott. Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *Am. J. Phys.*, 49(3):242–253, March 1981. (Citado na pg. 172.)
- [116] Lillian C. McDermott, Paula R. L. Heron, Peter S. Shaffer e MacKenzie R. Stetzer. Improving the preparation of k-12 teachers through physics education research. *American Journal of Physics*, 74(9):763–767, 2006. (Citado na pg. 191.)