

UNIVERSIDADE DE LISBOA
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO



**História e Filosofia da Ciência na Formação Inicial em
Ciências de Educadores e Professores do 1º e 2º Ciclo do
Ensino Básico: Uma Investigação-Ação**

Paulo José Severino Maurício

Doutoramento em Educação

Didática das Ciências

2015

UNIVERSIDADE DE LISBOA
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO



**História e Filosofia da Ciência na Formação Inicial em
Ciências de Educadores e Professores do 1º e 2º Ciclo do
Ensino Básico: Uma Investigação-Ação**

Paulo José Severino Maurício

**Tese orientada pela Professora Doutora Maria Isabel Seixas da Cunha
Chagas e coorientada pelo Professor Doutor Ricardo Lopes Coelho,
especialmente elaborada para a obtenção do grau de Doutor em Educação,
na especialidade de Didática das Ciências**

2015

The claim of general education is that the history of science is part of science. So are its philosophy, its great literature, and its social and intellectual context. The contribution of science instruction to the life of the university and to society should include these elements, since science includes them. A science course so constructed as to encompass these elements makes an important contribution to general education. It need not by that token make a poorer contribution to an education in science. One can defend the view that it is all the better science for being good general education. (p. 222)

In General Education in a Free Society

por James Bryant Conant

Aos meus pais.

Ao meu irmão.

Agradecimentos

À Professora Isabel Chagas e ao Professor Ricardo Coelho tenho a agradecer o terem proporcionado a possibilidade de realização deste trabalho. Sem o contributo, ajuda e orientação de um e de outro, nada teria sido possível.

À Bianor Valente, Mariana Feio e Abílio Gonçalves devo as tertúlias mais ou menos conseguidas e tudo o resto que tornou isto muito, mas muito mais interessante.

Resumo

O nosso estudo é uma investigação-ação em educação realizada ao longo de dois ciclos investigativos que pretendeu investigar como a História e Filosofia das Ciências podem transformar as nossas práticas de ensino-aprendizagem em direção a um ensino humanizado, que definimos. Partindo da análise da situação existente ao nível das nossas práticas de ensino-aprendizagem em formação inicial de professores, realizamos uma investigação onde se operaram mudanças a vários níveis. Como professor-investigador os nossos compromissos epistémicos e ontológicos conheceram uma mudança profunda que traduzimos pela expressão de no fim do projeto determos outra visão do mundo. Esta investigação foi realizado utilizando a história da ótica geométrica e a história da cor na informação de sequências de ensino-aprendizagens potencialmente mais eficazes, bem como na elaboração de materiais didáticos mais ricos e relevantes. Analisámos de igual modo as transformações operadas ao nível de diversos tipos de conhecimento nos próprios alunos, tendo obtido resultados que, a este nível, foram os que a literatura relevante nos levou a supor.

Palavras-chave: Formação de Professores; Investigação-ação; Ótica, História e Filosofia da Ciência; Sequências de ensino-aprendizagem

Abstract

Our study was an educational action research carried on over two cycles of research. We wanted to investigate how History and Philosophy of Science would transform our teaching-learning practices toward a humanized teaching, which is defined in the study. Based on an analysis of the existing situation in terms of our practices of teaching and learning in pre-service teacher education, we engaged on an investigation in which changes occur at several levels. As a teacher-researcher our epistemic and ontological commitments experienced a profound change that often we translate in terms of worldview change. This research was performed using the history of geometrical optics and the history of color in the elaboration of a potentially more effective teaching-learning sequences. Moreover we used History and Philosophy of Science as a source and guide to the elaboration of richest and more relevant teaching materials. Additionally, we analysed the transformations that learners' knowledge suffer and obtained results that, at this level, were consistent with the relevant literature.

Key-words: Pre-service teacher training; Action-research, Optics, History and Philosophy of Science; Teaching-Learning sequences

Índice

Resumo	vii
Abstract	ix
Índice	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de Tabelas	xv
Capítulo 1	1
Introdução	3
1.1 Problemática	3
1.2 Ensino da Ciência Humanizado	9
1.3 Problema de Investigação, Relevância e Limitações	11
1.4 Organização da Tese	13
Capítulo 2	15
Revisão da Literatura	17
2.1 Caminhos Para um Ensino da Ciência Humanizado	17
2.2 Ensino das Ciências. Crise	27
2.3 Ensino das Ciências. Ultrapassar a Crise	29
2.4 Argumentos Para Uma Humanização do Ensino das Ciências	30
2.5 A História e a Filosofia da Ciência no Ensino das Ciências	39
2.6 Da Problemática do Conhecimento à Nossa Abordagem ao Ensino-aprendizagem	54
Capítulo 3	61
Metodologia	63
3.1 Investigação-Ação	64
3.2 Desenho da Investigação	71
3.2.1 Apontamento sobre a análise narrativa em educação e a sua apropriação pelo nosso estudo	77
3.2.2 A investigação-ação e a narrativa no presente trabalho	80
3.2.3 A análise aspeto-esquema	81
3.2.4 Elaboração e Validação do Questionário Q1	83
Capítulo 4	89
Resultados	91
4.1 Vontade, Possibilidade e Necessidade: a Conjugação de Três Momentos Para Transformar o Ensino-aprendizagem	92
4.2 As Nossas Transformações: o Processo	97

4.3 Outras Instâncias de Mudança	100
4.4 Das Narrativas à Descoberta das Sequências de Ensino-aprendizagem	104
4.5 Um Ponto da Situação Antes de Avançarmos	107
4.6 As Sequências de Ensino-aprendizagem no Nosso Processo Investigativo	109
4.7 Primeiro Ciclo de Investigação-ação	111
4.8 O Segundo Ciclo Investigativo	162
4.9 Em Torno do <i>Inquiry</i> , da Natureza da Ciência e das Problemáticas Sócio-científicas: em Direção a um Ensino Humanizado.....	179
4.10 O Caráter Colaborativo e a Disseminação de Resultados	183
Capítulo 5	187
Discussão e Reflexão	189
5.1 Reconfiguração dos Compromissos Epistêmicos e Ontológicos	189
5.2 Os Processos Utilizados Para um Ensino Humanizado.....	194
5.3 Os Conhecimentos Concetuais, Processuais e de Contexto dos Alunos.....	195
5.4 Apontamento Final	200
Apêndices	201
Apêndice A Instrumentos de recolha de dados	203
Apêndice B Planificações.....	217
Apêndice C Apontamentos de História da ótica e da cor.....	229
A. Incursão pela História da Ótica	231
B. Incursão pela história da cor à luz da filosofia natural.....	237
Apêndice D Tradução comentada da Nova Teoria da Luz e das Cores.....	249
Apêndice E Materiais didáticos de Ótica, Astronomia, Eletricidade e Magnetismo	269
Apêndice F Questionário Q1: Resultados	339
Apêndice G Excursão histórica sobre a Visão.....	351
Anexos.....	365
Anexo A	367
Anexo B	377
Anexo C	381
Referências Bibliográficas.....	383

Índice de figuras

Figura 1. Plano onde se expressam os conceitos e proposições científicas, de acordo com Gerald Holton.....	25
Figura 2. Espaço onde tem lugar a atividade científica.	27
Figura 3. Estrutura concetual subjacente ao modelo mental luz como uma entidade corpórea.	47
Figura 4. O constructo “conhecimento” (em cima), e “conhecimento concetual”. Adaptado de Alexander et al. (1991)	57
Figura 5. Relação didática.	58
Figura 6. Ciclos de IA desenvolvidos.	71
Figura 7. Desenho da investigação: os dois ciclos de investigação-ação, participantes e período de intervenção.	73
Figura 8. Desenho do primeiro ciclo de investigação-ação.	74
Figura 9. Desenho do 2º ciclo de investigação-ação.	75
Figura 10. Desenho da investigação.....	76
Figura 11. Aspeto-esquema. Um “esquema” do conhecimento é resultado de um conjunto de “aspetos” do conhecimento.	82
Figura 12. Típico problema paradigmático que surgiu num exame de uma UC que lecionámos em 2010/11.....	95
Figura 13. Passos para a construção de uma sequência de ensino-aprendizagem (TLS). Adaptado de Leach e Scott (2002).....	110
Figura 14. Fontes para a construção do conhecimento escolar a ser objeto de ensino-aprendizagem.....	112
Figura 15. Evolução ontológica do “raio de luz” ou de “raio de visão” como nos informa a história da ótica.	115
Figura 16. Indicação do programa para área de “Estudo do Meio” no 3º ano de escolaridade.	119
Figura 17. Abundância dos Esquemas do conhecimento antes de iniciarmos o ensino-aprendizagem nos dois ciclos investigativos.....	140
Figura 18. Abundância das categorias que revelam conceções alternativas sobre a cor antes de iniciarmos a instrução no 1º e 2º ciclo investigativos.	141
Figura 19. Esquema representando a formação da imagem no olho.	144
Figura 20. Descrição textual do princípio, devido a Al-Kindi e a Alhazen segundo o qual cada ponto de um objeto rugoso reflete luz em todas as direções. Adaptado de Galili (2010).	145
Figura 21. Texto distribuído aos alunos com a tradução de uma passagem de Alhazen	

que refere o uso da câmara obscura como evidência de propagação da luz em linha reta num mesmo meio ótico	147
Figura 22. Representação esquemática da solução de Kepler para o problema da Visão. Adaptado de Galili (2010)	148
Figura 23. Representação de Gemma Frisius (1508-1555) da câmara obscura.	149
Figura 24. Esquema da experiência que surge na Opticks, pretendendo mostrar o surgimento de um 'espectro' PT numa placa MN após entrada da luz do Sol pelo orifício F e sua passagem pelo prisma ABC. (I. Newton, 1704).....	154
Figura 25 Representação da refração da luz do Sol da autoria de Della Porta (1535 - 1615).....	155
Figura 26 Espectro alongado obtido por um grupo no ano letivo de 2011/2012.	155
Figura 27 Obtenção de 'sombras coloridas' usando três fontes de luz coloridas.....	157
Figura 28. Explicação do arco-íris por Newton e a sua referência ao trabalho de António de Dominis e Descartes sobre o assunto.	160
Figura 29. Cor: Evolução da abundancia de unidades de registo atribuídas a cada categoria antes e após a TLS1.	161
Figura 30. Evolução dos Esquemas com a TLS1.....	162
Figura 31. Tradução da proposição VI, problema II tal como apresentado por Newton na Opticks em 1704.....	170
Figura 32. Cor: Evolução da abundancia de unidades de registo atribuídas a cada categoria antes.....	172
Figura 33. Evolução da abundância dos esquemas do conhecimento com o decorrer do segundo ciclo investigativo.	173
Figura 34. Abundância dos aspetos do esquema A, Esquema da Visão Espontânea na TLS1 (em cima) e na TLS2 (em baixo).	175
Figura 35. Abundância dos aspetos do esquema B, Esquema Corpóreo da Luz na TLS1 (em cima) e na TLS2 (em baixo).	176
Figura 36. Abundância dos aspetos do esquema C, Esquema de Luz-lanterna na TLS1 (em cima) e na TLS2 (em baixo).	177
Figura 37. Abundância dos aspetos do esquema D, Esquema de Holístico da Imagem na TLS1 (em cima) e na TLS2 (em baixo).	178
Figura 38. Abundância dos aspetos do esquema F, Esquema Sombra como Imagem na TLS1 (em cima) e na TLS2 (em baixo).	179

Índice de Tabelas

Tabela 1. Caraterização dos alunos participantes em cada um dos ciclos de IA.	73
Tabela 2. Instrumentos usados na recolha de dados.	76
Tabela 3. Questionário Q1: fontes bibliográficas para as questões	84
Tabela 4. Uso de triangulação no processo de validação.....	87
Tabela 5. Identificação do conhecimento científico de referência da ótica geométrica	122
Tabela 6 Categorização dos conhecimentos pertencentes ao conhecimento escolar a ser ensinado de acordo com a sua pertença a tipos de conhecimento.....	123
Tabela 7 Categorias, nome e descrição, que emergiram da análise dos dados para a análise das concepções sobre a cor.....	143
Tabela 8 Categorização dos conhecimentos pertencentes ao conhecimento escolar a ser ensinado de acordo com a sua pertença a tipos de conhecimento.....	167

Capítulo 1

Introdução

As justificações para a presença da ciência nos *currícula* mudaram ao longo do século XX. Várias áreas do conhecimento, incluindo, com robustez crescente, a educação, contribuíram para a formulação de objetivos da educação em ciência e sua justificação teórica.

No entanto, tais objetivos encontraram-se intimamente ligados – por vezes de modo mais implícito do que explícito – à evolução da ciência. Esta, como empreendimento humano, encontrou diversos caminhos de evolução e formas de organização; o olhar da filosofia, da sociologia e da história da ciência, dão-nos a conhecer visões diversas e por vezes conflitantes, sobre o que é a ciência e a sua relação com a tecnologia e a sociedade.

Como compreender então, à luz da evolução da ciência, a tensão permanente – tensão que se iniciou no século dezanove e que permanece bem acesa – entre a defesa de um ensino de ciência com história e filosofia da ciência, e a realidade de um ensino da ciência fragmentado em conjuntos de conceitos, leis e teorias, descontextualizado e promotor de uma aprendizagem por memorização? Quais as razões teóricas e práticas para a persistência de um ensino que parece ambicionar (sempre) preparar a futura geração de cientistas e técnicos, sem consideração pela criatividade inerente à produção e criação científica? O que leva professores e educadores a não verem na história e filosofia da ciência uma fonte de conteúdos e estratégias promotoras do gosto pela ciência e facilitadoras da sua compreensão e aprendizagem? Como a ciência rompeu com a sua raiz nas humanidades levando a uma divisão útil ao seu desenvolvimento, mas empobrecedora para a sua apreciação?

Desenvolvemos, então, uma breve abordagem a um conjunto de tensões e ruturas que a ciência conheceu no seu desenvolvimento e que a introdução desta nos *currícula* desenvolveu. Veremos como estas tensões foram promotoras de abordagens teóricas e práticas no sentido de as superar e recuperar a unidade perdida da ciência e do ensino da ciência.

Será deste modo estruturada uma abordagem à ciência e à educação em ciência que permitirá colocar o nosso problema de investigação e sustentar a sua relevância no contexto da educação em ciência.

1.1 Problemática

Pelo fim do século XIX a ciência havia adquirido um prestígio e capacidade de transformação social bem patentes na exposição mundial de Londres de 1851. Os

ramos disciplinares que o homem do século XX conheceu estavam formados. A influência nas artes e, em geral, na vida social era indiscutível. Na transição do século, Robert Musil (2014) pode iniciar o seu romance, “O Homem sem qualidades”, do seguinte modo:

Uma zona de baixas pressões sobre o Atlântico deslocava-se para leste, em direção a um anticiclone situado sobre a Rússia; não denunciava ainda qualquer tendência para o evitar, e dirigia-se para norte. Os isoterms e os isótermos cumpriam as suas obrigações. A temperatura do ar mostrava uma relação normal com a temperatura média anual, com as dos meses mais frio e mais quente e com a oscilação mensal aperiódica. O nascer e o pôr do Sol e da Lua, as fases desta última, de Vénus, dos anéis de Saturno e muitos outros fenómenos significativos correspondiam às previsões dos anuários de astronomia. O vapor de água no ar tinha atingido a sua tensão máxima e a humidade relativa era fraca. Para usar uma expressão que, apesar de antiquada, serve na perfeição para dar a realidade dos factos: era um belo dia de Agosto do ano de 1913. (p. 31)

Continuando com uma breve descrição da cosmopolita Viena, Robert Musil oferece-nos assim uma memória cultural desses tempos onde a ciência, a técnica e a sociedade jogavam um jogo de sedução que conheceria com a Primeira Grande Guerra, a guerra química, um confronto sério.

Ao mesmo tempo que os ramos disciplinares¹ (física, química, geologia, botânica, zoologia, biologia) se consolidavam ou desenvolviam, o ensino promovido pelo Estado envolvia cada vez mais anos de escolaridade e conhecia uma rápida institucionalização tanto na Europa como nos EUA (DeBoer, 1991; Jenkins, 1990; Nóvoa, 2000): as ciências físicas e da natureza começaram a ocupar um lugar nos *curricula* e a disputar a primazia dos estudos clássicos. John Dewey (1985) pode afirmar que “existe uma tradição educacional que opõe ciência à literatura e história no *curriculum*.” (p. 236)

Ainda que os objetivos de educação em ciência tenham, desde o início, sido objeto de disputa (DeBoer, 1991), o ensino de conceitos, leis e teorias na sua forma acabada, na forma deixada pelos filósofos naturais e cientistas, tornou-se um problema relativamente ao qual John Dewey (1985), em 1915, desenvolve uma apreciação:

Existe uma forte tentação para assumir que a apresentação da matéria na sua forma acabada faculta um caminho privilegiado para a aprendizagem. O que há de mais natural

¹ Os ramos disciplinares referidos já não correspondem à divisão disciplinar da segunda metade do século XX e, ainda menos, do presente século. A bioquímica, ciências do espaço ou biofísica são três exemplos de novas áreas do conhecimento.

do que supor que ao jovem pode ser poupado tempo e energia bem como ser protegido de erros desnecessários, começando onde investigadores competentes chegaram? O resultado está bem descrito na história da educação. Os alunos iniciam o seu estudo de ciência com textos nos quais a matéria é organizada em tópicos ordenados de acordo com o especialista. Conceitos técnicos, com as suas definições, são introduzidos logo no início. As leis são introduzidas num estágio muito inicial, e, na melhor das hipóteses, apenas com umas poucas indicações do caminho realizado para chegar a elas. Os alunos aprendem uma ‘ciência’ em lugar de aprenderem o modo científico de trabalhar a matéria da experiência comum. (p. 228)

Esta crítica ao ensino das ciências tal como é realizado, é acompanhado por uma visão da ciência que parece exigir precisamente, a pluralidade, multiplicidade e dialogismo no processo de ensino (Galili, 2012b). De facto John Dewey (ibid.) afirma:

Por ciência quer-se significar (...) aquele conhecimento que é o resultado de métodos de observação, reflexão e teste que são intencionalmente adotados para garantir um conhecimento fundado e fiável [*secure a settled, assured subject matter*]. Envolve uma inteligente e persistente diligência para rever crenças comuns, assim como para erradicar o que é erróneo, para aumentar a sua exatidão e, acima de tudo, para lhe dar tal forma que as dependências dos vários factos uns sobre os outros possam ser tão claras quanto possível. (...) Tanto lógica, como educacionalmente, a ciência é o aperfeiçoamento do conhecer, o seu último estágio. (p. 228)

Dewey (ibid.) prossegue afirmando que, “em resumo” a ciência significa a “realização das implicações *lógicas* de qualquer conhecimento”, [sublinhado no original] sendo que a “ordem lógica não é uma forma imposta sobre o que é conhecido”, mas a “própria forma do conhecimento assim aperfeiçoado.” (*The proper form of knowledge as perfected*) (p. 227).

Mas para o não iniciado, esta forma de conhecimento acabado, o último estágio do “aperfeiçoamento do conhecer” é um empecilho. De facto, se de alguns, poucos ossos, um “zoólogo competente reconstrói um animal”, para o iniciado, “os ossos são mera curiosidade” (id., ibid.):

Até que ele domine os princípios da zoologia, os seus esforços para retirar algo [dos ossos] serão aleatórios e cegos. Do ponto de vista do aluno, a forma científica é um ideal a ser atingido, não um ponto de partida a partir do qual avança. É no entanto, uma prática frequente é iniciar a instrução com os rudimentos da ciência de algum modo simplificados. *A consequência necessária é um isolamento da ciência de uma experiência significativa. O aluno aprende símbolos sem a chave para os seus significados* (...). Frequentemente ele adquire, simplesmente, um vocabulário peculiar. [ênfase nossa] (p. 227,228)

O ensino-aprendizagem da ciência tal como foi desenvolvido no início do século XX bem com as orientações curriculares, dirigiram-se para a formação de profissionais da ciência, orientação que aliás era reafirmada ainda há pouco tempo (DeBoer, 1991; Shamos, 1995)².

Como é referido no relatório realizado por Jonathan Osborne e Justin Dillon (2008) para a Nuffield Foundation, “Muito da *atual* preocupação sobre educação em ciência (...) concentra-se *apenas* na provisão de futuros cientistas e engenheiros (...)” (p.7) [sublinhado nosso]. O relatório prossegue afirmando:

O problema com o enquadrar a discussão sobre a ciência escolar em termos do suprimento da próxima geração de cientistas, é que ela define o principal objetivo da educação em ciência como um *pipeline* (...). Ao fazê-lo coloca uma responsabilidade sobre a educação em ciência na escola que nenhum outro currículo partilha (p. 7)

A mesma justificação para a relevância da ciência nos *curricula* é apresentada por Fensham (2008): facilitar a passagem de “uma pequena elite” dos estudantes de ciências do ensino secundário para a Universidade “para que se tornassem a próxima geração de cientistas, engenheiros e médicos” (pp. 14-15). A extensão do ensino da ciência aos primeiros anos de ensino, não levou a mudanças nos seus propósitos originais (idem, *ibid.*) De facto:

Ao reformular os *curricula* para incluir a ciência e a tecnologia, os conteúdos para aprendizagem [resultantes dessa reformulação] (...) ainda levavam o forte tom concetual que caracterizou a preparação em ciência do grupo de elite, quando eles eram a única preocupação e propósito do ensino escolar (p.15)

Assim, as raízes do ensino tradicional da ciência, i.e., o ensino da ciência na sua forma acabada, como um conjunto de conceitos, leis e teorias sem história e sem relação com a restante experiência (no sentido de Dewey) educacional do aluno, são bem fundas na nossa história e têm ramificações nos domínios e/ou aos níveis do professor, da escola, da comunidade, da política³ curricular e das políticas educativas.

² Os trabalhos de George DeBoer (1991) e de Morris Shamos (1995) têm objetivos diferentes e divergem na ênfase que colocam em determinados assuntos. Ainda assim, é possível identificar que o objetivo da educação em ciência de suprimento de cientistas, engenheiros e outros técnicos para o *pipeline*, evidente na década de 1950, 1960 e em relatórios mais recentes (Osborne & Dillon, 2008), foi contemporâneo da introdução das ciências nos *curricula*.

³ Usaremos o termo “política” tanto no significado do termo inglês *policy* como no seu significado

James Rutherford (2001) diz que os *curricula* estão delimitados pela tradição⁴: as elites de cada geração de adultos acredita que o ensino deve ser muito semelhante ao que eles próprios vivenciaram. Dietmar Höttecke e Cibelle Celestino Silva (2011) enquadram a persistência do ensino tradicional numa “cultura disciplinar”, que definem como compreendendo:

O conjunto das características de uma disciplina como processos e métodos de ensino e aprendizagem, estratégias instrucionais, conteúdo visto como obrigatório ou adicionado ao obrigatório, bem como expectativas, hábitos aceites ou rejeitados e ênfases curriculares dos seus membros (p.296)

Um professor imerso numa cultura disciplinar determinada participa “numa prática socialmente partilhada de objetivos, conteúdo relevante, e projetos instrucionais” (id., ibid.). Ainda segundo os mesmos autores, o professor de Física define como seu principal objetivo o de transmitir a verdade e, enquanto numa aula de Inglês, as opiniões dos alunos contam, diferentes opiniões são vistas como menos importantes numa aula de Física. Ora, os alunos confrontam as disciplinas num ritmo diário, saindo de uma aula onde as suas opiniões e expressões são valorizadas para uma outra onde não há diferentes opiniões: os professores de Física “não percebem o conteúdo como matéria de discussão e negociação entre os seus alunos. Logo, memorizar factos científicos é um importante aspeto do ensino da física.” (id., ibid.)

Ainda segundo Osborne e Dillon (2008, p. 21,22) numa outra parte do relatório já antes mencionado, é evidenciada a resistência à mudança por parte do professor, sendo “extremamente difícil aos professores” saírem da tradição do ensino das ciências em que foram treinados, o que não será de surpreender pois “o ensino da ciência é uma prática cultural bem estabelecida passada de um professor de ciências para outro.” De facto, vários estudos têm vindo a confirmar uma tendência para a manutenção de pedagogias transmissivas, centradas nos conteúdos e com conteúdos fragmentados e percebidos como pouco relevantes, privilegiando a memorização e com generalizada ausência de discussão (Lyons, 2007; Newton, Driver, & Osborne, 1999; Osborne & Collins, 2001; Vos & Reiding, 1999).

O professor surge então como um elemento central no processo de ensino-aprendizagem e, logo, um ator importante nos processos de mudança ou, como vimos, nos processos de resistência à mudança. Mas acima, identificámos as raízes do ensino

de política como exercício do poder.

⁴ A estabilidade dos *curricula* é também sustentada num estudo sociológico de Benavot, Cha, Kamens et al. (1991)

tradicional da ciência como fundadas não apenas no professor, mas também na escola, na comunidade, no currículo e nas políticas educativas. De facto, alguns dos trabalhos que referimos (Höttecke & Silva, 2011; Osborne & Dillon, 2008) identificam estes variados atores, ou alguns deles e em matizes diversas e o seu papel na manutenção/transformação do processo de ensino-aprendizagem. Como exemplo, Jonathan Osborne e Sue Collins (2001) identificam como os *curricula* e a avaliação condicionam a perceção do professor do que deve ser o seu desempenho. Por seu lado Peter Fensham (2008) releva a formação inicial e contínua, tema que é retomado em De Vos e Reiding (1999) na discussão dos problemas levantados pela implementação de um novo *curriculum* nos Países Baixos destinado à fase terminal do ensino secundário.

Assim, mudar, implica mudar muitos aspetos. Jane Kahle (2007, pp. 913–922) ao discutir reformas sistémicas em larga escala, mostra que “a primeira onda [referindo-se às várias ondas de reforma educacional pós-Sputnik] de reforma da educação em ciência não se dirigiu a todas as partes do sistema” (p. 914) mas focou-se no aumento da qualificação dos professores e nos livros de texto. Como refere Kahle (ibid.), “ambos os esforços mudaram a educação em ciência de forma substancial, e a sinergia entre os dois focos [de mudança sistémica] aumentou os seus efeitos separados” (p.922).

No fim, questões e preocupações do domínio político, limitaram as reformas educacionais da década de 60 e 70, “apesar de elas refletirem uma visão partilhada de uma melhor educação em ciência” (id., ibid.).

Até aqui, constatámos a tensão existente entre as humanidades e a ciência. Esta tensão é fruto de fraturas, entre as ciências e as humanidades que podemos encontrar expostas no livro de Stephen Jay Gould, *The Hedgehog, the Fox, and the Magister's Pox: Mending the Gap between Science and the Humanities*.

Estas fraturas foram muito provavelmente inevitáveis e mesmo necessárias. A ciência teve de encontrar os seus espaços de desenvolvimento nos vários domínios: teórico, institucional e político que já não cabiam, de um modo geral, numa atividade de busca simultânea de explicações para os fenómenos naturais e de justificação filosófica da atividade desenvolvida. O que afirmamos não significa que durante os dois séculos precedentes não tivessem existido sempre cientistas que fizeram filosofia. Aliás, a ligação não poderia ser, de forma alguma, completamente quebrada: como afirma Michael Matthews (2009, p. 701) a “ciência levanta questões filosóficas e exige compromissos filosóficos: ciência e filosofia caminham lado a lado”, e continuando, elenca uma pequena lista de cientistas, alguns dos quais se tornaram filósofos profissionais, ou tomaram a filosofia como a sua atividade central – Boltzmann, Planck, Bohr, Bunge, Holton, Polanyi, Bernal, Wilson e Gould.

Se olharmos para esta lista identificamos pessoas que tomamos como historiadores da ciência como seria o caso de John Bernal. Mas Gerald Holton, que segundo muitos é um físico que se tornou historiador da ciência, é para outros autores (Olga Pombo, comunicação pessoal, 2011) um filósofo, sendo mesmo um erro significativo considerá-lo historiador, posição que Ana Simões não subscreve (Ana Simões, comunicação pessoal, 2012). Esta fluidez que verificamos existir ao tentar uma classificação dos autores referidos conduz-nos a uma ideia que percorrerá o nosso trabalho: a história e a filosofia da ciência são duas áreas de conhecimento distintas mas intimamente ligadas.

Imre Lakatos (1970b, p. 92) parafraseia a máxima de Kant: “A filosofia da ciência sem a história da ciência é vazia; a história da ciência sem a filosofia da ciência é cega” para iniciar uma discussão da sua filosofia onde programas de investigação e não teorias passam a ser as unidades de avaliação do progresso em ciência. Esta ligação poderá ser também ilustrada com “A Estrutura das Revoluções Científicas” de Thomas Kuhn (1996), obra de vasta e duradoura influência na historiografia da ciência, na filosofia, na educação e na sociologia da ciência que foi publicada pela primeira vez, não num projeto historiográfico mas sim na *International Encyclopedia of Unified Science* de Otto Neurath, projeto filosófico resultante do Círculo de Viena que trabalhava no âmbito da unificação da ciência (Pombo, 2011).

De ora em diante utilizaremos a expressão História e Filosofia da Ciência (HFC), amplamente usada na literatura da educação em ciências (e.g. Aikenhead, 2007) para designar indistintamente uma ou outra, sendo que o contexto poderá determinar a ênfase colocada.

1.2 Ensino da Ciência Humanizado

A investigação em educação tem procurado, pelo menos desde as reformas educacionais desencadeadas nos EUA pós-Sputnik (G. S. Aikenhead, 2007; Holton, 2003a, 2003b; Matthews, 1994; Sequeira & Leite, 1988) transformar o ensino da ciência de um ensino transmissivo, centrado no professor e com o foco em conteúdos da ciência “socialmente estéreis, impessoais, frustrantes e intelectualmente enfadonhos e/ou desajustados da mundividência dos estudantes” (Aikenhead, 2007, p. 886), para um ensino centrado no aluno, contextualizado, baseado no *inquiry* e no qual se aprenda sobre a natureza da ciência e estejam presentes controvérsias sócio-científicas (Afonso, 2008; Aikenhead, 2007; Barrow, 2006; Canavarro, 1999; Galvão, Reis, Freire, & Faria, 2011; Good, 1994; Matthews, 2009; Reis, Guerra, Braga, & Freitas, 2001; Reis & Galvão, 2004b).

Como é vasta a literatura onde é racionalizado um ensino-aprendizagem da ciência onde os conhecimentos metacientíficos, i.e., aqueles relacionados com a construção da ciência, estão presentes (Alves & Morais, 2013; Ferreira & Morais, 2010; Lederman, 2007; Matthews, 1994, 2009; Wang & Marsh, 2002), a terminologia é naturalmente muito diversa para referir este processo: ensino de ciência em contexto (ou contextualizado), ensino da ciência com uma vertente humanista, ensino da ciência com História e Filosofia da Ciência, ensino da ciência e da natureza da ciência, entre outras designações.

Assim, e para clarificação de termos no âmbito do nosso estudo usaremos a expressão ensino da ciência humanizado – aliás já usado na literatura (G. S. Aikenhead, 1996, 2007; Donnelly, 2002, 2004; Good, 1994) – ao ensino onde a História e Filosofia da Ciência (HFC) está presente, centrado no aluno, contextualizado, baseado no *inquiry* e no qual se aprende sobre a natureza da ciência (NC) e estão presentes controvérsias sócio-científicas.

Identificámos assim, na segunda metade do século XIX e inícios do século XX, as tensões que a institucionalização da ciência e a sua introdução nos *curricula* trouxe com os *curricula* pré existentes e onde pontificavam as letras, as artes e a história. Esta tensão, teve várias manifestações, sendo que a mais relevante para o nosso estudo é precisamente a defesa por vários filósofos, educadores e historiadores de um ensino das ciências que contrariasse a que a tradição consagrou. Este ensino, o ensino das ciências na sua forma acabada, como um conjunto de conceitos, leis e teorias sem história e sem relação com a restante experiência (no sentido de Dewey) educacional do aluno, leva-nos a considerar, na sequência do trabalho teórico e prático de muitos, a necessidade da sua superação pelo uso da HFC.

Vimos de igual modo que o professor é um elemento central sem o qual, e contra o qual, qualquer mudança se torna efémera. Interessou-nos pois averiguar a nossa própria transformação enquanto professor-investigador; de que modo a história e filosofia da ciência no desenvolvimento das nossas práticas educativas, atuou sobre os nossos compromissos ontológicos e epistemológicos; interessou-nos ver, através de uma investigação-ação em educação que desenvolvemos com os nossos alunos, futuros educadores e professores do 1º e 2º CEB, como introduzir a HFC no *currículo*: que estratégias e conteúdos desenvolver e como realizar a sua implementação. Por fim, ver, como o nosso ensino-aprendizagem atuou ao nível dos conhecimentos dos alunos.

Da tensão entre as ciências e as humanidades têm emergido propostas consistentes e repetidas de enriquecer uma com outra, ou mesmo de trabalho unificador. Revemo-nos nesses esforços, que com Ernst Mach, Gerald Holton e Michael Matthews

conheceram vigor redobrado. Pensamos que para que o interesse, o gosto e as aprendizagens se desenvolvam, a unidade da experiência humana e a sua exploração com significado pela educação em ciências poderá prosseguir de formas variadas. A inclusão da HFC é um dos caminhos tentados (a integração da arte e ciência é outro) e será aquele que, pensamos, é suscetível de, a prazo, ser sustentado pela inclusão de HC nos *curricula* de formação inicial de professores.

1.3 Problema de Investigação, Relevância e Limitações

Após operacionalizarmos o problema enunciado com questões de investigação e discutirmos as limitações do estudo, argumentamos sobre a sua relevância no âmbito da educação em ciências.

Enunciamos o nosso problema do seguinte modo:

Como a introdução da História e Filosofia das Ciências (HFC) nas práticas de ensino na formação inicial em ciência de educadores e professores do 1º e 2º Ciclo do Ensino Básico contribui para um ensino da ciência humanizado?

1.3.1 Questões de investigação

1. De que modo a HFC modificou a nossa posição teórica relativa ao ensino-aprendizagem e compromissos ontológicos e epistemológicos enquanto professor-investigador?
2. Quais os processos utilizados na transformação das práticas de ensino em direção a um ensino das ciências com HFC?
3. Qual o impacto das alterações das práticas de ensino em direção a um ensino das ciências com HFC nos conhecimentos conceituais, processuais e de contexto dos alunos?

1.3.2 Limitações do estudo

A mudança no ensino das ciências com o uso de HFC, que o nosso problema coloca, começou no único lugar onde, enquanto professor, temos influência direta: a escola e, mais particularmente, a sala de aula. As limitações do estudo estão interrelacionadas tanto com a metodologia como com os sujeitos da investigação, não sendo suscetível de generalizar os resultados para além do contexto específico onde o trabalho foi desenvolvido. No entanto, os materiais desenvolvidos e/ou adaptados, bem como estratégias e trabalho didático para o ensino das ciências com HFC são passíveis

de disseminação. Sobre este assunto mais será dito no capítulo da metodologia (§ 3).

1.3.3 Relevância do estudo

É de dentro da escola que deve ocorrer a mudança, afirma Daryl Chubin (2000, p. 260). Esta afirmação, ainda que só aparentemente óbvia, não deixa de relevar uma vertente por onde a mudança se pode processar. A Escola é uma instituição resistente à mudança, no entanto, segundo Olga Pombo (2002, p. 68), para mudar “as escolas que temos não podemos ficar simplesmente à espera que as grandes transformações políticas ou institucionais nos venham, de fora, exteriormente, dar sentido à nossa tarefa de agora. (...)” há sim que “apostar na irradiação da nossa palavra, do nosso ensino”, ou ainda “apostar no contágio, no dar exemplo.” (Pombo, *ibid.*)

Adicionalmente, parafraseando Michael Matthews (2009), se à filosofia cabe refletir sobre os princípios e se refletir sobre os princípios é uma necessidade para a prática de boa ciência, então é também uma necessidade para a prática de um bom ensino. Não podendo nós – nem alguém que se proponha realizar um trabalho consistente – ensinar ciência sem refletir sobre o ensino e sobre a ciência, nem ensinar ciência onde esteja presente a HFC sem refletir sobre a história e a filosofia da ciência, os objetivos propostos no nosso estudo encaminham-nos para uma reflexão sobre o ensino-aprendizagem que desenvolvemos e, logo, para, potencialmente, um melhor ensino-aprendizagem.

Nas últimas décadas os cursos de formação de professores têm vindo a abandonar a formação em questões de nível estratégico, nomeadamente história e filosofia e a ênfase tem sido colocada em cursos de nível tático relacionadas com métodos de ensino em sala de aula, avaliação, *curricula* ou desenvolvimento profissional (Yalaki & Cakmakci, 2010, p. 292). Este olhar crítico sobre a formação de professores, que a realidade da formação inicial de educadores e professores do 1º e 2º CEB confirma, coloca o nosso estudo num caminho que pretende dar voz e corpo à possibilidade de um ensino onde esteja presente o nível estratégico.

“Os professores necessitam de possuir”, adianta ainda Michael Matthews na mesma entrevista a Yalaki e Çakmakci (*ibid.*) “um entusiasmo pela [ciência] e um conhecimento da ciência e do seu papel no progresso da sociedade e da cultura de modo a inspirar e motivar as crianças a aprender.” Este entusiasmo em fazer parte de um empreendimento profundamente humano, a ciência e a educação em ciência, deve estar presente na sala de aula e na escola. De facto, para Olga Pombo (2011, p. 46) tanto em Bacon como em Leibniz, a “ciência é o resultado de um esforço coletivo” e como a tarefa da ciência, assim a via Bacon, pela sua incomensurabilidade, não pode

ser feita por uma geração, os conhecimentos, metodologias, etc. devem ser passados à geração seguinte em ordem a que a ciência possa progredir (Pombo, *ibid.*). Esta é a tarefa da educação em ciência.

Com o nosso estudo, ao incluir a HFC no ensino da ciência, pretendemos desenvolver o espanto, o gosto e a imaginação pela ciência numa prática de formação inicial de professores. Ao estudarmos uma prática de transformação de ensino-aprendizagem pela inclusão de HFC, pretendemos, no domínio da investigação em educação, onde o problema se insere, disseminar boas práticas e evidenciar a própria possibilidade de transformação e inclusão de HFC no contexto da formação inicial de professores em Portugal.

Por fim, pretendemos construir e disseminar materiais didáticos e um currículo HFC no âmbito do 1º ciclo de formação inicial de educadores e professores do 1º e 2º CEB. A construção de materiais didáticos em português, nomeadamente pela tradução de vasto material que existe em Inglês, e a adaptação de estratégias didáticas para um ensino das ciências com HFC constitui, na atual realidade do ensino generalista nas Escolas Superiores de Educação um processo relevante para o ensino-aprendizagem de ciências (Galvão, Reis, Freire, & Faria, 2011; Matthews, 1994, pp. 199–213)

1.4 Organização da Tese

Após a exposição do problema e sua operacionalização em questões de investigação com discussão das suas limitações e relevância, prosseguimos no capítulo II com a revisão da literatura. Aí, pretendemos argumentar em favor do ensino humanizado da ciência, pela discussão problemática da literacia científica, da natureza da ciência e do olhar da filosofia sobre a ciência, após o que confrontamos a literatura existente sobre as perspetivas curriculares para um ensino humanizado. O enquadramento da tradição humanista portuguesa no nosso estudo surge com pensadores como António Sérgio ou Vitorino Magalhães Godinho, ou ainda Armando Castro na reivindicação de um ensino da ciência onde esteja presente a HFC, após o que passamos a problematizar sobre a abundante literatura que explora o uso de HFC no ensino-aprendizagem.

A nossa abordagem construtivista ao processo de ensino-aprendizagem é desenvolvida ainda na revisão da literatura, como o culminar da nossa discussão em torno da literatura sobre mudança concetual e o esclarecimento teórico do nosso uso do constructo ‘conhecimento’.

No capítulo 3 fundamentamos a nossa opção metodológica, discutimos questões de validade e questões éticas e operacionalizamos a investigação-ação para o nosso

estudo: participantes, recolha e análise de dados, bem como o uso da investigação narrativa no nosso estudo. O capítulo 4 será aquele onde apresentamos os resultados e realizamos uma primeira discussão dos mesmos, tendo como eixo as nossas questões de investigação, finalizando com o capítulo 5 onde procedemos a uma discussão dos resultados e síntese do nosso estudo.

Nos apêndices colocámos trabalho desenvolvido por nós e que consideramos de grande relevância para o nosso processo investigativo e de ensino-aprendizagem. Em particular a tradução comentada da comunicação de Newton à *Royal Society* em 1671/2, os três textos de apoio às aulas (Ótica, Astronomia e Eletricidade e Magnetismo) que foram informados pela HFC assim como as nossas planificações para o tópico de ótica, o tópico em torno do qual mais trabalhamos, são todas elas partes integrantes do nosso trabalho e complementares entre si.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

Neste capítulo organizamos uma discussão do que nos informa a literatura sobre os fundamentos a partir dos quais podemos construir, teórica e praticamente, o ensino humanizado problematizado no capítulo anterior.

Como na determinação concetual deste estão presentes várias vertentes, tomámos a decisão metodológica de começar pelos objetivos da educação em ciência, i. e., alcançar uma maior literacia científica. Discutimos depois a Natureza da Ciência e o *inquiry* bem como as problemáticas associadas aos respetivos constructos.

A filosofia da ciência, nomeadamente a epistemologia de Gerald Holton é então abordada, permitindo o desenvolvimento de uma discussão onde o plano contingente não é suficiente para a abordagem da construção da ciência, sendo necessário a consideração de um eixo *thematico*, com raízes históricas fundas e muito significativas para cada cientista individualmente considerado.

A confluência destas análises permite-nos formar um quadro teórico, onde é explorada a HFC no contexto do pensamento de alguns filósofos e historiadores portugueses e o seu uso na nossa investigação.

Por fim, desenvolvemos uma abordagem às teorias da mudança concetual sobre as quais o nosso ensino-aprendizagem se desenvolve e na qual a presente investigação encontra suporte.

2.1 Caminhos Para um Ensino da Ciência Humanizado

Aqui iremos percorrer três caminhos, a saber, Literacia Científica, Natureza da Ciência e Filosofia da Ciência, que nos irão permitir desenvolver uma discussão de três aspetos fundamentais da educação em ciência. Será com o entendimento destes conceitos para o desenvolvimento dos fundamentos da educação em ciência que encontraremos o caminho para um ensino da ciência humanizado.

2.1.1 Literacia Científica

Existe uma vasta literatura sobre o conceito de literacia científica (LC) (Bybee, 1997; DeBoer, 2000; Hodson, 2008; Holbrook & Rannikmae, 2009; Hurd, 1998; Laugksch, 2000; Millar, 2008; Miller, 1983; Miller, 2001; Norris & Phillips, 2003; Reis, 2006; Roberts, 2007, 1982; Roth & Désautels, 2004; Sjøberg, 2002). O termo tem vindo a ser usado em cada vez mais países para expressar o que deve ser a educação em ciência para todos (Holbrook & Rannikmae, 2009; Hurd, 1998; Millar, 2008). Antes de

prossequirmos, são no entanto necessárias algumas precisões.

Tanto Douglas Roberts (2007) como Joan Solomon (1998, 1999) salientam a existência e a similitude de dois outros conceitos comumente usados a par do conceito de literacia científica, a saber, cultura científica (*culture scientifique*), mais usado na Europa continental (Solomon, 1998) e *Public Understanding of Science* (PUS) (Miller, 2001), mais comum no Reino Unido. Solomon (1998, p. 171) refere que os conceitos são similares mas subtilmente diferentes. DeBoer (2000, p. 594), após uma análise histórica do conceito de LC e suas relações com os processos de reforma em educação, defende mesmo a equivalência entre LC e PUS. Roberts (2007), por seu lado, refere que ao estudar a LC, não deve deixar de mencionar, dada a natureza internacional do seu trabalho para o *Handbook*, “literatura intimamente relacionada” com a LC como é o caso da que refere a cultura científica ou a PUS.

Assim, ainda que utilizamos o termo LC e o quadro conceptual desenvolvido por Bybee (1997) e que explicitaremos de seguida, pensamos não estar a excluir contributos e abordagens relevantes vindas de tradições e programas de investigação diversos como os que resultaram nos termos *culture scientifique* e *Public Understanding of Science*.

Caminhos da literacia científica

O conceito LC foi cunhado após a Segunda Grande Guerra, adquirindo proeminência nas ciências da educação essencialmente desde a década de 80 (Laugksch, 2000; P. Reis, 2006; Roberts, 2007; Rye & Rubba, 2000). Ainda que o conceito tenha mudado com o tempo, tem-se mantido como um forte objeto de investigação em educação em ciências. Como afirma Rye (2000):

A nossa preparação de cidadãos para lidar com a ciência e a tecnologia à medida que estes empreendimentos tocam as [nossas] vidas tem sido um objetivo generalizadamente aceite como objetivo de uma educação escolar em ciências desde que Benjamin Franklin e Thomas Jefferson advogaram a inclusão da ciência e tecnologia no currículo escolar. (p.197)

Ou então Reis (2006):

Progressivamente, desde o seu aparecimento nos anos 50 do século XX, o termo “literacia científica” passou a ser utilizado como sinónimo de “finalidades da educação em ciência”. A partir dos anos 80 do século XX, este *slogan* espalha-se por todo mundo associado ao *slogan* de “ciência para todos” [sublinhado no original] (p. 167)

Ou ainda Roberts (2007) que há mais de vinte anos atrás realizou uma análise do desenvolvimento histórico inicial do termo LC “baseado na literatura sobre educação em ciência publicada na América do Norte desde os fins de 1950 até aos inícios de 1980, no sentido de racionalizar as diversas definições” (p. 736), concluindo que “LC foi introduzida entre os profissionais de educação em ciência como um *slogan* (...). Ao início, o discurso de LC era em favor de um desenho curricular para os '90% de alunos' que não são 'potenciais cientistas’” (p.736).

É-nos legítimo salientar uma evidência e realizar uma inferência. Primeiro, o conceito de LC surge como sucedâneo, ou mesmo contemporâneo, da atividade associada à presidência de Harvard por James Bryant Conant que decorreu de 1933 a 1953 – evidência. Conforme o interessante testemunho de Gerald Holton (Holton, 2003b):

[James] Conant disse mais tarde [após a II Guerra] que tinha ficado impressionado pelo facto de jovens soldados com poucos conhecimentos sobre os valores característicos de uma sociedade livre tenham sido enviados para batalhas sangrentas para a preservar. Ele decidiu, como o fizeram outros, que a principal tarefa (business) de uma escola (college) devia ser o revelar uma cidadania que seria mais educada, [também] em ciência e *nos seus limites* (...). (p.609) [sublinhado nosso]

De acordo com o relatório sobre a educação norte americana que James Conant (1945) pediu a uma comissão que elaborasse, significativamente intitulado *General Education in a Free Society* e que foi publicado em 1945, o ensino introdutório de ciência incorporaria de modo sistemático história e filosofia da ciência (id., ibid.).

Assim o conceito de LC nasceu num contexto de apelo e reformas curriculares no sentido de um ensino humanizado. Suspeitamos assim, que é na raiz da formação do conceito que vamos encontrar a mais sólida e útil definição de LC (inferência), seguindo o processo de amadurecimento em que a LC deixa de ser um *slogan* como alguns autores a denominam (Holbrook & Rannikmae, 2009, p. 277; Reis, 2006) e passa a definição útil à educação em ciências (Millar, 2008; Roberts, 2007).

O facto apontado por vários autores (DeBoer, 2000; Laugksch, 2000) de haver uma proliferação de definições e de concepções de e sobre literacia científica, assenta, pensamos, por um lado na diversidade de formação e de objetivos dos autores que entre as décadas de 50 e 80 estudaram a LC: educadores, cientistas, investigadores da educação em ciências, sociólogos, historiadores, etc., e por outro lado, à existência de diversos caminhos de investigação sobre o conceito de LC que conduzem a definições diversas (Roberts, 2007, p. 736).

As metodologias utilizadas na investigação do conceito de LC englobam: (a) uma

abordagem histórica; (b) análise de “tipos” e “níveis” de LC; (c) análise da palavra literacia; (d) uma abordagem do ponto de vista da ciência e do cientista e, por fim, (e) análise baseada em situações ou contextos onde presumivelmente aspetos da ciência são valorizados em situações do dia-a-dia.

Parece-nos, que estas diferentes categorias de análise não apenas facilitam a abordagem da literatura, conforme defende Roberts (ibid.) mas implicam necessariamente diversidade de conclusões – pelo menos numa fase inicial e prévia a tentativas de integração e sistematização.

Nos anos 70 surgiu a dimensão “ciência para todos” (Aikenhead, 1994a, p. 19,20; DeBoer, 1991, pp. 178–188; Fensham & Harlen, 1999). O crescente impacto da tecnologia e as questões sociais dela decorrente, bem como referências aos valores na educação em ciência caracterizaram a literatura sobre LC na década de 70 (DeBoer, 1991, p. 181). Assim, seguindo o nosso fio de Ariadne, foi precisamente nessa década que várias universidades e instituições tanto no Reino Unido como nos EUA, iniciam programas de reforma curricular que desenvolvem a abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS)⁵ (Layton, 1994).

Foi pois na sequência do movimento ciência para todos e dos esforços no âmbito da política educativa de responder a novos desafios, que se assistiu à proliferação dos currículos CTS. Como escreveu DeBoer (1991):

Talvez uma das maiores forças por detrás do movimento em direção a uma abordagem ciência-tecnologia-sociedade na educação em ciências nos anos 1970 e 1980 tenha sido o tremendo crescimento da consciência ambiental que teve lugar durante este período e o concomitante compromisso dos indivíduos para proteger e preservar o seu espaço de vida. Questões de conservação energética, poluição ambiental e sobrevivência do planeta eram preocupações que afetavam todos os habitantes da Terra e estavam intimamente ligadas a um vasto campo das ciências e tecnologias. (p. 182)

Vemos deste modo emergir uma relação entre os currículos CTS e o *slogan* LC.

Uma racionalização da LC é realizada em Roberts (2007) como resultante da tensão permanente entre duas ‘Visões’, onde ‘Visão’ é uma definição analítica, portanto mais vasta que uma definição. Sendo que na Visão I a LC assume significado na relação com os processos e produtos da ciência, e na Visão II adquire significado na relação com situações-contexto do dia-a-dia onde a ciência ou componentes da ciência são suscetíveis de ser encontradas. Assim, se considerarmos a tensão constante entre duas fontes curriculares com origem numa ou noutra Visão, encontramos uma racionalização

⁵ Para uma abordagem ao ensino CTS cf. e.g. Glen Aikenhead(1994b)

que explica a proliferação de definições de LC.

No entanto não nos parece, ao contrário de Roberts (2007, p. 771) que seja exclusivo dos partidários da Visão II a defesa de que “todos os estudantes numa sociedade democrática – independentemente dos seus planos para o futuro – necessitam de desenvolver a LC apropriada a situações outras que não o inquérito científico (*scientific inquiry*).” De facto é da Visão I que, por exemplo, emerge a definição proposta por Bybee (1997) de um *continuum* entre ausência e presença avançada de LC num indivíduo, enquadrada num quadro concetual de quatro níveis: LC nominal, funcional, concetual e processual e, por fim o quadro mais avançado de LC multidimensional, que Roberts (2007) apresenta como consistindo:

Na compreensão das estruturas concetuais essenciais da ciência e da tecnologia assim como dos aspetos que fazem dessa compreensão uma [compreensão] mais completa, por exemplo, a história e a natureza da ciência. Além do mais, indivíduos neste nível compreendem as relações das disciplinas com o conjunto da ciência e da tecnologia e com a sociedade. (p. 741)

No quadro desta conceção de LC, todos os cidadãos se enquadram num dos quatro níveis, sendo objetivo do ensino em ciência aumentar o nível de LC tanto dos alunos que prosseguirão uma carreira científica ou relacionada com a ciência, como de todos os outros.

Assim, como proposta heurística a análise de Roberts (2007) revelou-se útil em explicar a proliferação de definições, mas em nosso entender falha ao identificar a Visão II como a visão humanista de LC: é na Visão I que a LC têm as suas raízes; é dela que surgem propostas curriculares como os *Benchmarks for Science Literacy* da AAAS.

Por fim, não podemos deixar de mencionar o ceticismo de Shamos (1995) relativamente à ideia de usar a LC como um modo de expressar os objetivos globais da educação em ciência. Construindo, tal como Bybee, uma escala de LC, onde o último grau é denominada de “verdadeira” LC, conclui da impossibilidade de educar todos os cidadãos norte-americanos em ciência até ao ponto de atingirem a “verdadeira” LC. Ora o uso da LC como fonte de propostas curriculares para o ensino da ciência para todos, pressupõe o entendimento de que alguns alunos (desejavelmente poucos) não ultrapassarão o primeiro nível de LC, outros (certamente muitos) atingirão o segundo e terceiro nível de LC e outros ainda (certamente poucos mas desejavelmente cada vez mais) atingirão o nível superior, que na proposta de Bybee (1997), que adotamos, corresponde ao nível multidimensional.

Algumas conclusões para o nosso estudo

A raiz histórica tanto do conceito de literacia científica como das propostas curriculares de índole humanista são as mesmas. Este facto levou-nos a procurar seguir o fio condutor que liga as propostas iniciais, até às atuais definições e propostas curriculares.

Para efeitos do nosso estudo julgamos apropriada a proposta de Bybee (1997, pp. 118–123) de um *continuum* de graus de literacia científica expressos em quatro quadros conceptuais que têm as suas raízes nas primeiras propostas sobre literacia científica. Pretendemos averiguar de seguida como integramos a Natureza da Ciência (NC) na LC.

2.1.2 Natureza da ciência

A Natureza da Ciência (NC) é uma construção teórica da educação em ciências com uma conceptualização que aparece, como veremos, relativamente fragmentada. Julgamos que em grande medida esse facto se deve à natureza de fronteira da construção teórica. Elaborada na fronteira da educação em ciências, da história da ciência, da filosofia da ciência e da sociologia, tem sido advogado como um importante objetivo do ensino em ciência desde há 100 anos, sendo que mais recentemente vários documentos de reforma educativa um pouco por todo o mundo (EUA, Canada, Reino Unido, Austrália, África do Sul) reafirmaram a NC como um resultado educacional essencial (Lederman, 2007, p. 831; Matthews, 2009).

Para Lederman (2007) a “NC refere-se aos pressupostos epistemológicos que estão na base da atividade da ciência e das características do conhecimento resultante” (p. 835). Este autor lista seis “características da ciência e do conhecimento científico relacionadas com o que os alunos devem saber” (Lederman, 2007, p. 833). São elas: (a) distinção entre observação e inferência; (b) distinção entre teoria e lei; (c) envolvimento da imaginação e da criatividade na construção do conhecimento científico; (d) papel da subjetividade no conhecimento científico; (e) empreendimento humano desenvolvido num contexto cultural determinado e (f), conhecimento sujeito a revisão.

Segundo Michael Matthews (Yalaki & Cakmakci, 2010)⁶, Lederman teria, em outra publicação, acrescentado uma outra característica, a do mito do método científico. Ora, é interessante verificarmos que Lederman (2007) fala no método científico, referido através do *scientific inquiry*. Mas não o refere para acrescentar mais um elemento à sua

⁶ Yalaki e Cakmakci (2010) realizaram uma longa entrevista por e-mail a Michael Matthews após uma passagem deste pela Turquia. Publicada no *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, esta entrevista serviu de fonte valiosa para este capítulo.

lista de seis características, mas antes para alertar para a confusão que muitas vezes surge entre a NC e o *scientific inquiry* (Lederman, 2007, p. 835)

A estas características Michael Matthews (Yalaki & Cakmakci, 2010) elenca outras oito (não exaustivas)⁷: (a) o problema da demarcação entre conhecimento científico e não científico; (b) a questão metodológica; (c) o problema da explicação; (d) a escolha entre teorias; (e) o problema do realismo vs instrumentalismo; (f) a questão da idealização em ciência; (g) a matematização e, finalmente, (h) o papel dos valores.

Como é afirmado em Yalaki e Cakmakci (ibid.):

Dado que aos professores de ciência é requerido pelos currícula e *standards* contemporâneos que ensinem a NC, então a muito popular lista de Lederman é apenas o princípio do que pode ser ensinado; aos sete de Lederman [atenção a comentário já realizado por nós] podem ser adicionados quaisquer ou todas as características acima mencionadas.(p. 300)

Michael Matthews (2012) prossegue afirmando que mais importante do que a lista de Lederman (2007) ou a sua, o que importa é qual o objetivo de ensinar NC (Yalaki & Cakmakci, 2010, p. 300). Para Matthews a resposta é clara: ter alunos interessados e envolvidos (*engaged*) por estes aspetos da ciência.

É pois neste sentido de construção teórica da NC como uma listagem, que referimos a aparência fragmentada da NC. No entanto, se virmos a NC como um objetivo “crítico” essencial da LC, podemos adotar a posição expressa em Yalaki et al. (2010) de definir as características da ciência que queremos que os alunos aprendam e avançar a partir daí.

Algumas conclusões para o nosso estudo

Assumimos como objetivos do ensino em ciência promover a ascensão dos alunos de níveis de LC mais baixos para os superiores. A NC é um objetivo essencial no ensino para mais LC. Os vários aspetos da NC referidos na literatura, não devem ser objeto de imposição da opinião, do ponto de vista do professor, mas objeto de determinação de posições, esclarecimento de ambiguidades, clarificação de conceitos. Depois que cada aluno e professor assuma uma posição mais elevada no patamar do conhecimento.

A construção teórica NC é resultado de trabalho filosófico e educacional. Realizado por cientistas, filósofos ou profissionais da educação em ciências, a NC é

⁷ Matthews (2012) argumenta sobre os problemas levantados sobre o constructo NC, defendendo a sua substituição por características da ciência (*Features of Science*). Esta substituição pode permitir falar, por exemplo do problema da demarcação. Sendo muito interessante esta proposta, a NC é no entanto uma construção teórica com grande influência, logo inércia, na educação em ciências, pelo que mantemos a denominação.

pensamento filosófico. Como não há progresso em filosofia, e esta continua (felizmente!) a ser realizada, vamos de seguida expor a nossa posição filosófica sobre a ciência, antes de confrontarmos a literatura existente sobre o ensino com HFC.

2.1.3 Um olhar da filosofia

Dos olhares da filosofia da ciência pretendemos iluminar uma posição epistemológica⁸ que sustente um ensino com HFC. Se Gerald Holton (2003a) foi participante ativo nos primeiros esforços (pós-Sputnik) de reforma humanista do ensino da ciência, também foi um filósofo da ciência que empreendeu uma reflexão com consequências curriculares através da edição de um dos primeiros livros de texto com HFC (Holton, 2003a, 2003b).

A epistemologia de Holton (1973) preocupa-se com o papel da imaginação na construção do conhecimento científico, nomeadamente sobre o porquê da assunção de um conjunto de hipóteses iniciais e não de outras, na persistência que muitos cientistas (a um nível mais ou menos explícito, todos) mostram em prosseguir objetivos ou crenças ontológicas (a natureza é suscetível de descrição matemática) ou epistemológicas (simplicidade das leis físicas, beleza das leis físicas, etc.). Além do mais a sua filosofia da ciência resulta no estabelecimento de uma ponte entre a atividade científica e as humanidades. Como Holton (1973) afirma:

Esta descrição [do método hipotético-dedutivo] do procedimento científico não está errada; tem o seu uso (...). Mas se nós tentarmos perceber as ações e decisões de um cientista concreto (*atual contributor to science*), as categorias e etapas listadas acima são incompletas pois elas deixam de fora um ponto essencial: num grau maior ou menor, o processo de construção de uma teoria científica concreta requer *escolhas* implícitas ou explícitas (...). [sublinhado nosso] (p.48)

Estas escolhas, decisões que os cientistas tomam sobre a adoção de “certas hipóteses e critérios de pré-seleção” (p.49) não têm que ser cientificamente válidas no sentido normal do termo. E Holton (1973) prossegue

Um resultado deste reconhecimento será que a dicotomia entre o ensino científico e humanista, que é evidente e real em muitos níveis, torna-se muito menos vincado se olharmos cuidadosamente para a construção das teorias científicas. Isto torna-se evidente primeiro no espaço onde as escolhas explícitas ou implícitas se fazem sentir

⁸ Os autores franceses não distinguem “filosofia da ciência” de “epistemologia”, ao contrário dos anglo-saxónicos. No nosso estudo utilizaremos indistintamente os dois termos.

com mais força – na formação, teste, aceitação ou rejeição de hipóteses.

A filosofia da ciência de Gerald Holton

Ainda que Holton (1978) tome a física como terreno de eleição para o desenvolvimento da sua epistemologia (é um físico de formação), a sua filosofia da ciência não fica de modo algum comprometida com este berço original.

Gerald Holton (1973) relembra-nos que “independentemente de quais as proposições científicas tidas como 'sem significado', todas as filosofias da ciência concordam que dois tipos de proposições *não* são sem significado” (p. 53): as afirmações relacionadas com questões empíricas de “factos”, “que em última análise se reduzem a leituras de medidas”, e as afirmações relacionadas com o cálculo matemático, que, afirma, em última análise se resume a tautologias, no sentido que a expressão matemática de uma lei é a afirmação dessa lei numa outra linguagem. Prosseguimos, com Holton (ibid.), denominando os dois tipos de proposições de *empíricas*, as que resultam da observação e de *analíticas*, as que resultam do cálculo.

Numa analogia (e Holton avisadamente alerta-nos para não esquecermos que é uma analogia), coloquemos as proposições empíricas segundo o eixo dos xx e as *analíticas* num eixo, ortogonal, dos yy : O plano x - y resultante (Figura 1) é o plano onde se expressa o “discurso científico usual”. Os conceitos são representados por pontos, e as proposições são análogas a linhas com projeções nos eixos dos xx e yy .



Figura 1. Plano onde se expressam os conceitos e proposições científicas, de acordo com Gerald Holton.

A título ilustrativo, veja-se, o conceito de força. Por um lado tem uma dimensão empírica que pode ser obtida lendo um dinamómetro, resultando num ponto no eixo dos xx , por outro tem uma dimensão analítica, que pode ser calculada usando o cálculo vetorial, mas não a matemática das quantidades escalares, obtendo nós um ponto que colocaríamos sobre o eixo dos yy . Assim a interceção das duas coordenadas no plano dá-nos o conceito de força⁹.

⁹ Para exemplos de como as proposições, hipóteses ou leis podem ser expressas neste plano,

Este plano, a que Holton denomina de plano *contingente* tem sido considerado, pelo menos de forma consistente desde Copérnico, como insuficiente para entender e para fazer ciência. Copérnico afirmou que a restrição última na escolha de hipóteses não é que elas tenham de ser consistentes com a observação, mas também consistentes com certas concepções chamadas de “axiomas da física”, tais como a presunção, por exemplo, de que os movimentos dos corpos celestes devam ser circulares (Holton, 1973, p. 57). Bertrand Russell, por seu lado, refere situações em que as premissas de certas teorias não são nem empírica nem logicamente necessárias. Já Popper fala da impossibilidade de retirar da ciência tudo o que não seja estritamente verificável ou justificável. Lakatos (1988), no desenvolvimento da sua epistemologia dos programas de investigação adianta que “hoje, pode-se demonstrar facilmente que uma lei da natureza não pode ser derivada de um qualquer número finito de factos; mas continuamos a tomar conhecimento de teorias científicas comprovadas a partir de factos. Porquê esta resistência à lógica elementar?” (p. 13). Adiantando, mais à frente a sua tese:

A unidade descritiva típica das grandes realizações científicas não é uma hipótese isolada, mas antes um programa de investigação. A ciência não é simplesmente ensaio e erro, uma série de conjecturas e refutações (...). A ciência newtoniana, por exemplo, não é simplesmente um conjunto de quatro conjecturas – as três leis da mecânica e a lei da gravitação. Estas quatro leis constituem apenas o “núcleo” do programa newtoniano. Mas este núcleo é tenazmente defendido da refutação por uma vasta “cintura protetora” de hipóteses auxiliares. (p.16)

Hipóteses auxiliares essas, adiantamos nós, não todas sustentadas por “factos”.

Assim ao plano x-y, Holton (1973) acrescenta uma terceira dimensão da ciência, que representa utilizando outro eixo ortogonal, o eixo dos zz, obtendo assim um espaço onde se pode descrever a atividade científica (Figura 2). Nele, residem os “pressupostos fundamentais, noções, termos, opções metodológicas e decisões” (id., p.57) que não são redutíveis ao plano x-y: os *themata*.

O eixo dos zz comporta as convicções mais profundas do cientista, a sua subjetividade, a sua imaginação. Os *themata* são historicamente resistentes e de algum modo, culturalmente determinados. Gerald Holton (1986, p. 53) identificou 10 *themata* que orientaram os trabalhos de Einstein: a) primazia às explicações formais, b) unidade (ou unificação), c) escala cosmológica, i.e. aplicabilidade geral das leis por todo o domínio da experiência, d) parcimónia lógica, e) simplicidade, f) causalidade, g)

veja-se e.g. Holton (1973, pp. 54-55)

completude, h) *continuum*, i) permanência, e, finalmente, j) invariância.

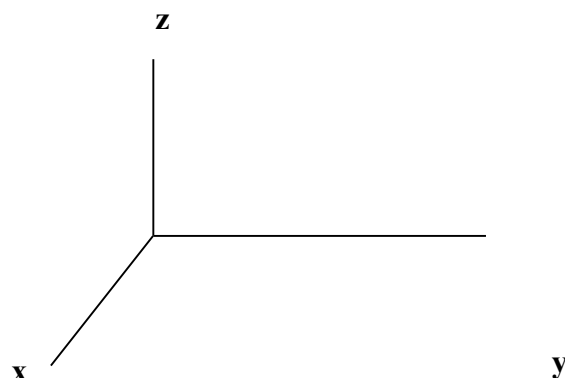


Figura 2. Espaço onde tem lugar a atividade científica.

Deste modo a construção filosófica de Holton permite e exige, a consideração dos aspetos culturais, e mesmo psicológicos do cientista e da atividade científica e sem os quais não haveria ciência.

Algumas conclusões para o nosso estudo

O ensino da ciência com HFC tem naturalmente contribuições de áreas do conhecimento como a filosofia, a história e a educação em ciência. Mas não pode resultar da exigência de aglutinação de ideias dispersas, desconexas, provindas de áreas diferentes mas antes de uma exigência de construção teórica coerente onde o apelo a uma educação humanista é sustentada de forma consistente.

Ao assumirmos um olhar filosófico sobre a ciência, não estamos a afirmar (seria um disparate) que é o olhar correto. Não há filosofias corretas ou incorretas. Estamos a adotar uma posição filosófica onde a cultura é naturalmente integrada na atividade científica; a imaginação do cientista surge nos *themata* que o orienta. Por outro lado, a história surge na descrição de uma teoria de dois modos. Por um lado no plano contingente, onde teríamos a história interna das leis e teorias mas também, parcialmente, a história externa da ciência. De facto, é neste plano que se pode procurar a história dos instrumentos ou dos conceitos que contribuem para a descrição teórica do cientista. A história surge de igual modo na análise da evolução dos *themata* onde releva a história externa da ciência.

2.2 Ensino das Ciências. Crise

O ensino da ciência enfrenta problemas, alguns persistentes, que têm conduzido investigadores em educação, governos e organizações internacionais ao desenvolvimento de documentos de análise e de formação ou recomendação de políticas, conducentes à transformação da situação atual (Fensham, 2008; J. Osborne & Dillon, 2008; Rocard, Csermely, Jorde, Walberg-Henriksson, & Hemmo, 2007; S. Sjøberg & Schreiner, 2010).

A investigação em educação sustenta as análises e recomendações desses estudos, em substituição de opiniões e crenças. Parecendo-nos que sendo este o caminho a seguir – o de enformar as políticas educacionais com argumentos emergentes da investigação – é ainda longo o caminho pela frente. O relatório da *Thematic Network on Teacher Education in Europe* salienta a profunda diferença de *opiniões* e *crenças* sobre o estado atual da educação de professores nos estados membros da União Europeia, apelando a mais investigação (Buchberger, Campos, Kallos, & Stephenson, 2000, p. 10). A acrescentar a mais e melhor investigação, há a “necessidade de a tornar mais relevante para os professores” (Cachapuz, Praia, & Jorge, 2002), entendendo nós o termo “relevante” neste contexto como indicando a necessidade de promover a disseminação da investigação entre os professores e educadores.

O crescente desinteresse dos jovens pela ciência é um problema transversal assinalado em todos os estudos. O relatório apresentado à *Nuffield Foundation* por Osborne e Dillon (2008, p. 13) refere que “muitos países têm visto decrescer o número de estudantes que escolhem prosseguir o estudo de ciências físicas, engenharia e matemática na universidade”. O mesmo é relatado em Rocard et al. (2007). Já em Cachapuz et al. (2002, p. 11) é salientado o “divórcio de um número substancial de jovens portugueses por estudos científicos/tecnológicos”. Por seu lado Fensham (2008, p. 11) refere um declínio de interesse dos alunos nos países desenvolvidos, tanto em relação a carreiras científicas ou baseadas em ciência, como na própria ciência como campo de interesse ao longo da vida. Svein Sjøberg e Camilla Schreiner (2010), reportando conclusões do projeto *Relevance of Science Education* (ROSE), que envolve cerca de 40 países, mostram que a ciência escolar está a falhar em levar os alunos a apreciar ciência.

Duas notas cautelares são no entanto devidas. Por um lado, há o perigo de, estando nós a referir estudos diferentes que apontam para uma mesma conclusão, esses estudos remeterem para um mesmo leque de estudos originais. Como exemplo, o relatório da Comissão Europeia Rocard et al. (2007) vai buscar os seus dados ao estudo promovido pela OCDE (2006). Por outro lado, conforme salientado logo ao início neste último relatório, apesar dos esforços de harmonização de informação estatística

a nível transnacional “os dados estatísticos existentes não são completamente adequados para medir e analisar o nível de interesse dos estudantes.”

Mas se há consenso relativamente ao declínio do número de alunos que prosseguem a aprendizagem da ciência para além das disciplinas obrigatórias e que esse facto é sintoma de uma crise maior, educativa, mas também cultural e social, as responsabilidades pelo declínio do número de alunos que prosseguem os estudos em ciência não são unicamente da educação em ciência. Como referem Osborne e Dillon (2008), aprender ciência é exigente, requer aplicação, disciplina e uma gratificação mediata, valores negligenciados pela cultura contemporânea.

2.3 Ensino das Ciências. Ultrapassar a Crise

Peter Fensham (2008) afirma que programas escolares que não evidenciem nos seus estudantes as forças e limitações da ciência e tecnologia estão claramente desajustados. De facto, “Por volta dos anos 90 a ciência e a tecnologia foram reconhecidas em muitos países como merecedoras de um lugar no currículo do primeiro aos últimos anos do ensino” (id., p.15) mas, adianta, o reajustamento curricular para abranger todas as faixas etárias foi realizado num contexto de manutenção do ensino com o objetivo de preparação para as profissões científicas ou relacionadas com a ciência.

Mesmo relatórios que evidenciam preocupações mais largas com a educação, como a promoção da LC, começam por referir o crescente desinteresse dos jovens pela ciência (Rocard et al., 2007) em relação com a capacidade de sustentação futura de uma indústria inovadora e de uma investigação de qualidade. Osborne e Dillon (2008) começam exatamente por denunciar este facto:

Muita da preocupação atual sobre a educação em ciência (...) concentra-se apenas na oferta de futuros cientistas e engenheiros e raramente examina a procura. Existe, por exemplo, uma falha em reconhecer que a ciência é uma atividade global, onde a evidência sugere que não existe nenhuma escassez de doutorados (...) (p.7)

As recomendações são consensuais em apontar a necessidade de as políticas educacionais se dirigirem para o rompimento com o ensino transmissivo e descontextualizado. O ensino por *inquiry* é defendido por uma vasta literatura e tem constituído um tema de organização curricular nos esforços pós-Sputnik, de melhoria do ensino das ciências (Abd-El-Khalick et al., 2004; Anderson, 2007; Bell, Urhahne, Schanze, & Ploetzner, 2010; Brown, Abell, Demir, & Schmidt, 2006; Cachapuz et al., 2002; Crawford, 2000; Grandy & Duschl, 2007; Ireland, Watters, Lunn Brownlee, &

Lupton, 2014; Krajcik et al., 1988; Minstrell & van Zee, 2000; Tseng, Tuan, & Chin, 2012).

Anderson (2007, p. 823), numa atitude que remete para a preocupação de Cachapuz *et al.* (2002) de que a investigação em educação possa ser “relevante” para os professores, elenca uma listagem que permita ao educador verificar se o seu ensino é, ou não, baseado no *inquiry*. Assim, o professor envolvido num ensino por *inquiry* está ativamente a refletir sobre questões como: (a) Estão os estudantes a construir conhecimento ou a memorizar? (b) Até que ponto eles interpretam, explicam informação com que se cruzam e desenvolvem hipóteses relacionando os dados? (c) Têm os estudantes a oportunidade de desenhar e/ou dirigir algumas experiências, ou seguem um guião fornecido pelo educador? (d) Têm a oportunidade de desenvolver e defender as conclusões a que chegaram? (e) Envolvem-se em atividades escolhidas por eles próprios ou por pequenos grupos, ou desenvolvem todos e sempre as mesmas atividades? (f) O trabalho do estudante na sala de aula dá ênfase ao raciocínio, inclui leitura, escrita e resolução de problemas complexos e contextualizados?

Importa ter presente que a defesa do ensino por *inquiry* não significa que os professores tenham de seguir uma única aproximação ao ensino das ciências, mas deve ser encarado como *estratégia* central (id., p. 810). Neste sentido, a proposta de Cachapuz et al. (2002, pp. 132–133) de um conjunto de “princípios orientadores” que “devem enquadrar” os *curricula* de ciências, explícitos ou implementados em sala de aula aos quais cabe ao professor dar uma coerência global, surge como uma explicitação de uma possibilidade onde os itens que Anderson (2007) elenca se encaixam.

2.4 Argumentos Para Uma Humanização do Ensino das Ciências

No § 2.1 explorámos vários caminhos que fundamentam a nossa investigações para uma humanização da educação em ciências, a saber, Natureza da Ciência, Literacia Científica e ensino por *inquiry*.

Procuramos, de seguida, encontrar e analisar argumentos oriundos de áreas diversas do conhecimento que originaram – ou pretenderam sustentar – propostas curriculares de humanização da educação e de concetualização da ciência como cultura. Estes argumentos reforçam o caminho percorrido pelas investigações em educação, em filosofia e em história da ciência em torno da NC, da LC e do *inquiry* como constructos culturalmente relevantes.

2.4.1 Problematização de pensadores portugueses

Com raízes na cultura portuguesa existem alguns pensadores que problematizaram o ensino humanizado da ciência e o ensino com HFC. Vitorino Magalhães Godinho afirma que “para compreender o processo do conhecimento importa ter em conta a evolução da ciência como desenvolvimento de ideias e como parte do conjunto das relações humanas” (Godinho, 1971a, p. 224). E um pouco mais à frente acrescenta:

É útil, afigura-se-me, iluminar a *mútua conexão* da ciência, da filosofia e da história da ciência: de uma filosofia que não seja escolástica estéril ou retórica desordenada, de uma história da ciência que veja as ideias e não as datas, de uma *ciência viva e profundamente humana*. [sublinhado nosso] (p.224)

Vemos em Magalhães Godinho uma preocupação profunda com o estado do ensino em Portugal, mas, em particular, com uma ênfase interessante na HFC: “a História da Ciência e do pensamento científico não merece qualquer atenção nos *curricula* oficiais, secundários ou ditos superiores.” (Godinho, 1971b, p. XXIII).

Já António Sérgio apela ao abandono da pedagogia que classifica de dogmática, desumana e passiva. Dogmática, diz Sérgio (2006) “por não apresentar com clareza aos jovens o motivo por que se adotou a concepção ensinada, quer dizer: como se chegou até ela” (p.93). Desumana “por não mostrar o esforço mental do cientista, o sacrifício, a canseira, a abnegação, a energia, a luta a que se sujeita para que se aceite a sua verdade” (ibid.). Passiva, “porque não revela aos alunos como se constrói a doutrina, isto é, porque não busca apontar-lhes o trabalho inventivo, a fantasia criadora de onde o saber promana. Porque diz que se *descobre*, e não que se *cria* a ciência” [sublinhado no original] (id., ibid.). Além do mais, como afirma Sérgio (2006) o progresso “exigiu sempre a polémica” necessária para combater o dogmatismo sempre à espreita, pelo que:

Conviria (...) combater o dogmatismo com delinear a história, ao menos, das mais célebres e importantes entre as concepções dos sábios, ligando-as às exigências do trabalho humano, quando por elas surgiram; ademais caracterizar as fases da investigação metódica, salientando o papel da congeminação criadora, – dessa livre fantasia de onde brota a hipótese; e apresentar a ciência na sua realidade humana (...) jamais separando o saber científico da atividade-do-espírito que o vai criando (pp. 94-95)

Armando de Castro autor da obra *Teoria do Conhecimento Científico*, no seguimento do pensamento marxista português, denuncia “As tendências utilitárias, pragmáticas (...) evidentes no ensino médio e superior do nosso país” (Castro, 1988, p.

235) acrescentando de seguida, que “um dos meios de a combater no plano pedagógico consiste em aliar o ensino teórico e prático ao ensino (...) através da história crítica de cada disciplina” (id., ibid.). E sublinha, no mesmo trabalho:

No próprio plano educativo um ensino das ciências a-histórico, como sublinhava já então Paul Langevin, perde interesse para os estudantes que o procuram adquirir, tornando-se frio, estático, e levando à convicção de que a ciência é uma atividade morta, um conjunto de posições definitivas e insuperáveis. [Essa apresentação a-histórica], além de mecanizar uma atividade que, pela sua própria natureza deve ser criadora, introduz distorções na compreensão de diversas teorias científicas. (pp. 235-236)

Armando de Castro (1988) adianta que “distinguir a atividade ideológica [ou pré científica] ou a atividade filosófica da atividade científica é uma tarefa fundamental, quer nas ciências do homem [por razões que apontou anteriormente] quer inclusive nas ciências do mundo inorgânico e biológico.” Também nesta tarefa a “história das ciências não se pode pôr de lado, pois ministra ensinamentos válidos ao apontar para as repetidas intromissões de um e de outro plano no 'saber científico'; deste modo, [a história da ciência] participa ativamente no esforço de purificar estes diversos planos” (ibid.).

Importa determo-nos um pouco nesta reflexão. Veja-se como para Armando de Castro, a atividade científica não está isenta de “contaminações” vindas tanto do conhecimento comum, não científico – apontando assim para uma dimensão pessoal da atividade científica que encontramos na epistemologia de Holton nos *themata*, crenças muito pessoais que 'dirigem' as escolhas que o cientista tem de realizar, mas também “contaminações” eminentemente sociais na construção do conhecimento científico, pois o “conhecimento comum” é, também, um conhecimento social, ou socialmente partilhado. De facto, Castro (ibid., p.232) explicita esta ideia ao defender que a “formulação de problemas científicos nasce da lógica interna do desenvolvimento disciplinar *combinada* com as exigências do meio social em que esta problemática surge” (sublinhado nosso), formulação, afirmamos nós, com expressão clara na filosofia da ciência de Gerald Holton.

Questões levantadas por esta problematização

É necessário colocarmos estas problematizações no contexto de um país periférico e com 40 anos de ditadura fascista, e onde a influência predominante nos meios intelectuais, tanto progressistas como conservadores, era a cultura francesa. No entanto, como veremos, é do meio anglo-saxónico que provêm as principais (as mais

férteis, sem dúvida) forças motrizes de mudança curricular para um ensino humanista. Mas estes condicionantes não devem conduzir-nos a uma ação irrefletida de desvalorização destes contributos.

Profundamente inseridos na realidade portuguesa, estes apelos a um ensino da ciência humanizado (de alcance curricular certamente quase nulo), merecem ser objeto de investigação. Nomeadamente: a) as propostas teóricas avançadas com eventual utilidade para a epistemologia da educação em ciências, onde relevam as de Armando de Castro e Magalhães Godinho; b) as propostas avançadas para a integração da HFC no ensino da ciência no contexto educativo português e oriundas deste; c) propostas didáticas relevantes onde talvez António Sérgio tenha aqui um papel mais significativo.

2.4.2 A humanização do ensino da ciência

A humanização do ensino da ciência constitui-se como a “mais generalizada” fonte de propostas curriculares alternativas ao ensino tradicional da ciência com o objetivo de preparar cidadãos que, de modo racional e crítico, vivam a sociedade imersa na ciência e pela ciência e tecnologia (Aikenhead, 2007, p. 881). Solbes e Traver (2003), após uma descrição e breve análise das causas prováveis da crise que o ensino da ciência atravessa, avançam com a exposição de duas linhas de propostas curriculares com o intuito preciso de “evitar a crise atual da educação em ciência” (p.704). Uma, remontando a Conant, prosseguindo com Holton e com o *Project Physics Course* e reforçada com a contribuição de Schwab e das propostas oriundas do BSCS defenderia a introdução da HFC, mas estaria mais ligada à história interna da ciência. Outra, ligada aos movimentos CTS, colocaria a ênfase na história externa da ciência.

Aikenhead (2007), por seu turno, enquadra as propostas CTS como resultantes tanto da “interação da ciência e dos cientistas com questões sociais e institucionais *externas* à comunidade científica” (p.884), como da “interação dos cientistas e dos seus valores comunitários, epistémicos e ontológicos *internos* à comunidade científica” (id., *ibid.*) (sublinhado no original).

De facto, dos problemas levantados pela *Big Science* que surgiram numa janela temporal relativamente larga (relação Estado-ciência; Bomba atômica, chuvas ácidas, questões energéticas e ambientais, escassez de recursos, aquecimento global, questões éticas da investigação em biologia) foram poucos ou quase nenhuns os que motivaram as primeiras propostas curriculares para um ensino humanizado. A preocupação de Conant em que cada cidadão compreenda o que denominou de “tática e estratégia da ciência” (Holton, 2003b) liga-se à sua motivação de tom muito conservador, pela coesão social da América e “preservação da nossa civilização”

(Holton, *ibid.*). Seria dos fins da década de 60 até à década de 80 que o eclodir dos movimentos ecologistas e pacifistas, por exemplo, deram expressão pública a uma realidade que já vinha percorrendo a atividade científica: a relação CTS.

Assim seríamos tentados a ver na divisão de Solbes e Traver (2003) uma proposta heurística útil, caso não víssemos que as preocupações de Conant são, em todos os aspetos relevantes, preocupações CTS: preocupações com a influência da ciência na sociedade e desta na ciência; preocupações sobre a “sobrevivência da nossa civilização”: bomba atômica, questões éticas e morais, etc.

Deste modo não vislumbramos a necessidade de sustentar as propostas CTS num quadro conceptual diferente do que levou ao emergir do *Project Physics Course*. Mas a ênfase, essa sim, foi mudando; os *slogans* foram-se alterando. Desde a década de 70 que a perspectiva humanista do ensino das ciências tem sido identificada com os curricula CTS (Aikenhead, 2007, p. 882).

Ora, ainda que seja esmagadora a evidência sobre o fracasso educacional do ensino tradicional em ciência (e.g., Aikenhead, 2007; Solbes & Traver, 2003) a resistência à mudança é enorme (Aikenhead, 2007; Chagas, 2000; Chubin, 2000). Como Chubin (2000) afirma no seu artigo intitulado *Reculturing Science*, que foi buscar à “muito ouvida frase” *reinventing government*, “Como muitas exortações, esta passa pelos lábios sem demasiado esforço. Fazer ocorrer mudanças é outra coisa. Mas elas devem acontecer. (...) [os hábitos], no entanto, são muito difíceis de quebrar” (p. 259).

Ciência como cultura

A investigação realizada sobre a transformação do ensino tradicional, educacionalmente um fracasso mas com elevado estatuto entre os professores (e.g., Aikenhead, 2007) leva-nos a considerar a categoria de relevância curricular. Aikenhead (2007) analisa a relevância olhando para 'quem decide' e adota sete categorias. 'Ciência como cultura' surge como uma categoria de relevância mais global capaz de servir de chapéu às outras categorias.

Já Douglas Roberts (1982), desenvolvendo o conceito de “ênfase curricular”, encontra a ciência como cultura – *Self as explainer*, como Roberts (1982) denomina esta ênfase curricular – como uma das sete “visões alternativas de porquê os alunos devem aprender ciência” (p. 243). Para Roberts (1982):

Uma ênfase curricular em educação em ciências é um conjunto coerente de mensagens para o estudante sobre a ciência (mais do que de ciência). Tais mensagens constituem objetivos que vão além da aprendizagem de factos, princípios, leis e teorias dos próprios

conteúdos – objetivos que fornecem respostas à questão dos alunos: ‘Porque estou a aprender isto?’ (p. 245)

A ênfase curricular *Self as explainer*, transmite uma mensagem em que a ciência é uma instituição cultural e uma “expressão de uma das muitas capacidades do Homem.” (id, ibid.). Para que a história da ciência¹⁰ possa veicular esta estória da ciência como instituição cultural, torna-se necessário insuflar vida naquela que é “provavelmente a mais comum imagem da história da ciência”: um seco catálogo de “quem – fez – o quê – quando” (id., Ibid.). Assim, “revivificar a história da ciência é examinar o crescimento e mudança nas ideias científicas como função dos propósitos humanos e das preocupações intelectuais e culturais das situações particulares nas quais as ideias foram desenvolvidas e refinadas.” (p. 248)

Deste modo, conclui Roberts (1982, p. 248), o aluno recebe a mensagem de que a “humanidade da ciência é a sua própria humanidade”, pois também ele é um “explicador de acontecimentos, com os seus objetivos pessoais e o seu lugar próprio numa rede de preocupações intelectuais e culturais”. Para Roberts (1982), a ênfase curricular *Self as explainer* encontra a sua realização nos trabalhos didáticos de James Bryant Conant e do *Project Physics*.

Aikenhead (1998, p. 86) afirma que “uma perspetiva cultural trata o currículo de ciências como um artefacto cultural e caracteriza a típica sala de aula de ciências como o palco de muitos eventos interculturais.” Mais, uma perspetiva cultural do currículo:

permite um relato fecundo, intuitivo e holístico das experiências vividas pelos alunos numa sala de aula de ciências, considerando essas experiências em função do cruzamento de fronteiras culturais entre subculturas como as dos pares, família, média e da escola, para a subcultura da ciência e da ciência escolar (p. 86)

Glen Aikenhead (1996, 1998) caracteriza a aprendizagem de ciências na escola como uma aquisição cultural, onde cultura – numa definição que se deve a Geertz, “significa um sistema ordenado de significados e símbolos, em função dos quais as interações sociais se desenvolvem” (Aikenhead, 1996, p. 7)¹¹. Assim, o ensino-aprendizagem das ciências é, para Aikenhead (1996), um cruzamento de fronteiras entre subculturas pelos alunos (aprendizagem) e a inculturação na subcultura da ciência

¹⁰ Douglas Roberts expressa a ideia, comum na altura, da HC como uma história das ideias em ciência. Ainda que esta percepção da HC esteja há muito ultrapassada, não retira força ao argumento.

¹¹ Aikenhead (1996) elabora sobre várias possíveis definições de cultura e acaba por adotar uma especificação da definição referida, devida a Phelan, a saber: cultura como as “normas, valores, crenças, expectativas e ações convencionadas de um grupo”. (p. 7)

escolar dos alunos por parte dos professores (ensino).

Vimos assim, alguns trabalhos, dos muitos que a literatura em educação tem produzido (Gaskell, 2003; Krugly-Smolka, 1996; Solomon, 1998, 1999; Stanley & Brickhouse, 1994) e que refletiram sobre como o entendimento da ciência como uma cultura determina a estrutura curricular.

Também a sociologia da ciência, assim como trabalhos na fronteira da história com a filosofia da ciência, têm uma vasta obra onde a atividade científica emerge como uma atividade cultural, i.e., geradora de significados partilhados, fornecedora de contextos criadores e que é transmitida e reforçada geracionalmente (Latour, 1987; Shapin & Shaffer, 1984; Ziman, 2000).

Mas fora destas investigações permanece o conteúdo disciplinar como uma cultura. Ou seja, o conteúdo disciplinar, não apenas como parte constituinte de uma cultura, mas ele próprio uma cultura. Nesta vertente, os trabalhos que relevam o dialogismo e a pluralidade são promotores de uma nova visão disciplinar. Como afirma Igal Galili (2012a)¹²:

Recentemente, resultados oriundos da investigação em educação em ciências mudaram substancialmente os *curricula* de ciências. O discurso da educação em física tem proporcionado novas perspetivas fundamentais, entre as quais os aspetos da pluralidade e do dialogismo podem ser tomadas como emblemáticos para o nosso tempo. (p. 1)

De acordo com Galili (2012a) e Tseitlin e Galili (2005, 2006), uma teoria em física poderá ser modelada como sendo constituída por: a) um núcleo, que incorpora os princípios fundamentais (a teoria paradigmática, as suas leis fundamentais e conceitos de natureza ontológica e epistémica); b) um corpo, que incorpora várias aplicações do núcleo (problemas resolvidos, fenómenos explicados, etc.); c) uma periferia, que inclui todos os tipos de oponentes ao núcleo (os seus rivais do passado, que se constituem como predecessores históricos, do presente, que se constituem como ideias alternativas em ciência e concepções alternativas dos alunos, e do futuro, que incluem as teorias que, resultante do desenvolvimento da física, irão ultrapassar as que no presente constituem o núcleo.)

Como salienta Igal Galili (2012a), em geral, os *curricula* de física estão restritos ao núcleo e corpo: a periferia é deixada de fora. Ora “um aspeto importante da disciplina como cultura (*discipline-culture*) é uma adequada representação das relações entre as

¹² Os trabalhos de Galili e Tseitlin referem explicitamente a área disciplinar da física. No entanto as principais conclusões dos seus trabalhos são extensíveis às outras áreas do conhecimento científico (Galili, 2012a, 2012b; Tseitlin & Galili, 2005, 2006).

teorias que foram sendo substituídas no curso da história.” (p. 4). De facto, como salienta Galili (2012a)

Os principais conceitos não desapareceram ou apareceram apenas para provocar uma revolução imediata. Eles são preservados na periferia, mantendo um discurso com as concepções rivais. A apresentação deste debate na educação introduz pluralidade ao conhecimento de conteúdo da educação. O foco de tal perspectiva histórica está na ciência através da troca de conceitos e desenvolvimento de ideias pelo discurso, em lugar de reter um catálogo de nomes, datas, perspectivas históricas ou filosóficas. (p. 5)

E mais à frente, os curricula orientados segundo esta perspectiva de “dialogismo concetual”, introduzem este mesmo valor na educação em ciências “pela inclusão da polifonia de ideias e interpretações relevantes” – sem eliminar a avaliação do conhecimento em correto ou incorreto de acordo com a perspectiva atualmente aceite. (I. Galili, 2012a, p. 11).

Tseitlin e Galili (2005) avançam decididamente na conceptualização do conhecimento disciplinar como uma cultura quando afirmam:

Estudar física começa a se transformar num estudo de uma cultura. O que nos torna mais próximos de uma cultura é a presença do ‘Outro’ (outro conhecimento). O que nos permite falar de ensinar física como uma Cultura será que não apresentaremos a física apenas como Conhecimento, mas de igual modo como um espaço de afirmações (visões, teorias) de físicos, um discurso, ou seja, como um Texto. (p. 241)

Estas investigações, que conceptualizam a ciência como uma cultura com origem na educação em ciências (Aikenhead, 1996, 2007; Brickhouse & Stanley, 1995; Holton, 2014; Solomon, 1994, 1998; Stanley & Brickhouse, 1994, 1995) e na sociologia da ciência (Latour, 1987; Ziman, 2000), tiveram, com os trabalhos de Michael Tseitlin e de Igal Galili que discutimos acima, mais um passo para a percepção da ciência e do conhecimento científico não apenas como pertencendo a uma cultura, mas como sendo eles mesmo uma cultura (Galili, 2012a, 2012b; Tseitlin & Galili, 2005, 2006).

Esta construção teórica, leva a que a introdução da HFC no currículo de uma área disciplinar, não possa mais ser vista como um acréscimo de conteúdo que procura dar mais relevância à educação em ciências – entre muitos outros objetivos que podem ser aduzidos –, mas como uma necessidade que releva da concepção disciplinar ciência como cultura.

Devemos, no entanto, e antes de fechar esta discussão, aludir a alguns trabalhos no âmbito da filosofia da ciência que enriquecem esta visão da ciência como cultura.

Na construção de Karl Popper dos Três Mundos, os produtos, processos e ideias da ciência ocupam o mesmo mundo dos que, na linguagem comum, designamos como produtos culturais. “Exemplos de objetos do mundo 3 são: A Constituição Americana; ou *The Tempest* de Shakespeare; ou o seu *Hamlet*; ou a Quinta sinfonia de Beethoven; ou a teoria da gravitação de Newton” (Popper, 1978, p. 145), sendo que estes objetos que habitam o Mundo 3 “tais como teorias jogam um papel tremendo na mudança do mundo 1” (ibid., p.164). Já para Michael Polanyi, na análise de Fischer e Mandell, (2009):

As várias tradições e convenções que influenciam e por vezes conduzem as interações sociais inerentes ao inquérito científico não são imediatamente visíveis. (...) [Polanyi] identificou um processo de conhecimento tácito (...) como um repertório de conhecimentos e crenças que perpassa 'a procura tradicional do inquérito científico', constituindo o próprio sustentáculo do qual o conhecimento objetivo adquire tanto a sua possibilidade como o seu significado.

Nestas influências não visíveis podemos vislumbrar as influências culturais pessoais e comunitárias. Também em Holton (1973), a terceira dimensão *thematica* possui uma forte determinação cultural.

Gerald Holton, no entanto, avança de modo mais audacioso na problematização da ciência como cultura e analisa a questão sob outro ângulo. Num seu ensaio, inicialmente escrito em 1963 e significativamente intitulado *Physics and Culture: Criteria for curricula design*, Holton (ibid.) afirma:

As muito discutidas clivagens no conhecimento [entre ciência e cultura] são demasiadas vezes o resultado de definições erróneas. A controvérsia entre T. S. Eliot e os seus críticos, ou, mais recentemente, entre Snow e Leavis, serve para nos lembrar o quão necessário é, para cada geração, repensar o que é 'cultura' nos seus múltiplos sentidos, o que faz a adesão de um povo a uma cultura, e que forças e mecanismos atuam na sua transformação. A esta luz o tópico importante não é até que ponto a ciência é uma atividade separada de outras, mas antes como podemos definir e transmitir a cultura de tal modo que a ciência seja vista como uma componente válida da nossa cultura (pp. 463-464)

Em José António Marina (1995) encontramos uma bela descrição dos “propósitos” da ciência. Esta, a ciência, “propõe-se esclarecer as coisas, e esclarecê-las significa deixar que se perceba a sua bela luminosidade” (p.71). Adiantando ainda:

O astrónomo não deve cantar as glórias da criação, antes buscar as leis que regem o girar dos astros, mas não seria de mais que comunicasse, ao mesmo tempo que a fórmula, a exaltação que produziu nele o conhecimento da exata, límpida e precisa

música das esferas celestiais. (p.71)

O espanto perante uma obra de Fauré, um livro de José Cardoso Pires, ou uma pintura de Malevich não é diferente da exaltação referida por António Marina.

Por fim, Stephen Jay Gould (2004) é perentório em defender que embora o “suposto” conflito entre a ciência e a religião tenha merecido mais destaque, ele é tão antigo e profundo como aquele que contesta as interações da ciência com as artes e as humanidades (idem, p.18). Assim afirma:

Por mais logicamente sólidas e por mais sancionadas por uma longa persistência histórica [que surjam], as nossas taxonomias das disciplinas humanas surgem por razões largamente arbitrárias e contingentes de normas sociais e práticas universitárias passadas, assim criando falsas barreiras (...) Por exemplo, sinto que fiz os meus principais avanços no meu próprio campo da paleontologia apenas quando (...) explicitamente compreendi que as ferramentas necessárias para compreender muitos dos padrões da evolução residiam em metodologias estabelecidas por historiadores em departamentos das nossas faculdades de humanidades. (pp. 17-18)

2.5 A História e a Filosofia da Ciência no Ensino das Ciências

Procuramos aqui referir o uso da HFC na educação em ciências a partir de duas orientações diferentes. Uma, as vantagens assinaladas na literatura que decorreriam do seu uso, outra a situação atual. Do confronto destas duas posições partiremos para a utilização da HFC na literatura sobre mudança conceptual, que iniciará a nossa discussão deste assunto.

2.5.1 Vantagens assinaladas ao ensino da ciência com história e filosofia da ciência

Encontramos em Sequeira e Leite (1988) uma resenha histórica da utilização da HFC em sala de aula com o primeiro apoio político-institucional à integração da HFC nos curricula a surgir em 1917:

Nos finais do século XIX alguns professores ingleses incluíam já alguma História da Ciência nas suas aulas pois acreditavam que isso constituía uma motivação para os seus alunos. A atitude destes professores viria mais tarde a ser apoiada e reforçada pela *British Association for the Advancement of Science* (BAAS) (p. 30)

Mas foi com o *Project Physics Course*, que “o movimento atingiu o seu auge” (id., p.31)¹³, acreditando os autores do *Project Physics* que “a apresentação dos temas numa perspectiva histórica e cultural ajudaria os alunos a encarar a Física como atividade humana, multifacetada e maravilhosa, que ela realmente é” (id., ibid.). Passados mais de 20 anos sobre o trabalho de Sequeira e Leite (1988), a constatação da existência de cursos de formação de professores onde a HFC não era contemplada mantém toda a atualidade.

Gerald Holton (1978, pp. 295–298) ao descrever a filosofia educativa do *Project Physics Course* salienta:

Professores e cientistas, sendo membros de um grupo que desempenha um papel fundamental na vida cultural de uma nação, devem estar orgulhosos da existência desta tapeçaria de ideias interligadas, tanto mais que o seu campo, a física, tem um papel central nesta estrutura orgânica da história intelectual. (p. 298)

A imagem da “tapeçaria de ideias interligadas” que Holton (ibid.) refere na passagem acima é construída por um ensino onde um conceito, lei ou teoria é ensinado realizando ligações com conceitos, leis ou teorias temporalmente precedentes e/ou sucedâneas bem como estabelecendo ligações com áreas do conhecimento diversas.

Ao ensinar a Mecânica Newtoniana, por exemplo, realizamos várias ligações: com a matemática, em épocas de desenvolvimento distintas (cálculo diferencial, contemporâneo de Newton, cálculo vetorial, contemporâneo de Galileu); com a astronomia, também em várias épocas da humanidade (astronomia de posição e astronomia observacional); com a sociedade e a tecnologia (colocação em órbita de satélites, e organização do empreendimento científico), com a filosofia (atomismo), etc. Por outro lado, a Mecânica Newtoniana tem uma conexão íntima com a física galilaica, o trabalho astronómico e matemático de Kepler bem como com a Teoria Cinética dos Gases e a Relatividade Restrita.

A rede de ligações que resulta daqui, constitui a tapeçaria referida por Gerald Holton, e permite o estabelecimento de ligações curriculares significativas entre campos do conhecimento e épocas históricas diversas.

Galili (2012b) como referimos na nossa discussão de ciência como cultura, aproxima-se desta abordagem de Holton (1978). Para Galili (2012b):

¹³ Pela mesma altura, o *Biological Science Curriculum Study* (BSCS) foi desenvolvido para a Biologia. Joseph Schwab que ficou intimamente ligado a este projeto teve uma importância maior no desenvolvimento do *inquiry* na educação em ciências (Rudolph, 2003; Wang & Marsh, 2002)

A disciplina científica, usualmente centra-se em determinadas teorias e ignora teorias alternativas, tanto históricas como contemporâneas. Por exemplo, o curso padrão em mecânica clássica ignora as suas predecessoras (como a mecânica aristotélica) bem como sucessoras (como a mecânica quântica ou relativista) e disciplinas paralelas (como a termodinâmica ou eletromagnetismo). (p. 1288)

Vemos também aqui uma teia de relações a emergirem. É esta teia, promotora da emergência de referências culturais e de um ensino rico e enriquecedor, que a HFC pode ajudar a tecer.

O ensino-aprendizagem da ciência com o uso da HFC dá ênfase à ciência como um processo, promove a compreensão da sua natureza e leva ao desenvolvimento do interesse e de atitudes positivas dos alunos em relação à ciência. Por outro lado o uso da HFC no processo de ensino-aprendizagem é mais suscetível de promover a mudança conceptual bem como um conhecimento mais sólido de conteúdos científicos ao mesmo tempo que se apresenta como o processo mais adequado para uma sustentar uma linha curricular “ciência para todos” potenciando uma cidadania responsável (Höttecke, Henke, & Riess, 2012; Höttecke & Silva, 2011; Kolstør, 2008; Matthews, 1994; Rudge & Howe, 2009) No entanto os obstáculos têm-se revelado significativos e persistentes.

Apesar das vantagens assinaladas ao ensino-aprendizagem da ciência através da HFC verifica-se uma muito fraca implementação desta metodologia sendo possível identificar quatro obstáculos fundamentais que têm dificultado essa introdução (Höttecke & Silva, 2011; Monk & Osborne, 1997): a) falta de interesse e/ou competências por parte dos professores em ensinar com HFC, b) não existência de uma ideia clara do professor relativamente à ajuda que a HFC pode dar para o ensino dos conteúdos, c) existência marginal em manuais, livros de texto e curricula oficiais desprovidos de conteúdos significativos de HFC e por último, d) falta de materiais didáticos de qualidade.

Este último fator é especialmente relevante no contexto português por duas ordens de razões. Primeiro, para que a aprendizagem seja significativa seria de relevar o contexto português, que está frequentemente ausente, como se em Portugal nunca nada se tivesse passado. Segundo, existe em língua inglesa, material didático e histórico para o ensino da ciência com HFC de muito boa qualidade. Veja-se por exemplo os estudos de caso e outro material didático produzido pelo projeto *International History, Philosophy and Science Teaching* [IHPST] (Höttecke et al., 2012). No entanto, mesmo ao ensino superior, os alunos, futuros professores do 1º e 2º CEB chegam com crescentes dificuldades de leitura e interpretação de textos em inglês, pelo

que é crescente o número de professores a facilitarem uma aprendizagem através do estudo de material em língua portuguesa.

2.5.2. Mudança concetual e evolução do conhecimento do aluno com a instrução

O modelo padrão, ou clássico, da mudança concetual (MC) (G. Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982; Strike & Posner, 1992), surgiu na literatura a partir da história e filosofia da ciência. Posner et al. (1982) explicitam a influência determinante de Thomas Kuhn (1996) – mas também dos programas de investigação de Lakatos (1968) – com os conceitos de ‘ciência normal’ como o modo de investigação dentro de um paradigma (Kuhn) ou dentro de um programa de investigação (Lakatos) ou, então, de modificação radical de estruturas concetuais no quadro de uma revolução científica (Kuhn) ou mudança de programa de investigação (Lakatos).

No seu trabalho inicial, Posner et al. (1982, p. 211), começam por dizer que “se tornou um lugar-comum acreditar que a aprendizagem é o resultado da interação entre o que é ensinado ao estudante e as suas ideias ou conceitos atuais” acrescentando que, de modo algum, se constitui como uma nova visão da aprendizagem, tendo antes origens no início do século com os psicólogos da *Gestalt* e depois com Piaget.

Os trabalhos de Jean Piaget (e.g. 1952, 2002) no final dos anos vinte e anos trinta, sobre as explicações dadas por crianças de diferentes idades em torno dos fenómenos da natureza, tiveram uma influência maior no estudo dos quadros interpretativos que os alunos detêm antes da instrução (dos Santos, 1991; Driver, Asoko, Leach, Scott, & Mortimer, 1994; Posner et al., 1982; Scott, Asoko, & Leach, 2007). A conceptualização dos estádios de desenvolvimento de Piaget, os quais são independentes do domínio (e.g. Piaget, 2002, pp. 131 – 170), surge com David Ausubel (2000) e depois com Joseph Novak (1977), como domínio-dependentes.

Como afirma Ausubel (2000, p. 40), novas aprendizagens (significativas) são o produto de uma integração ativa entre novos conteúdos e ideias relevantes já existentes na estrutura do conhecimento do aluno. Mais, as aprendizagens adquiridas num determinado domínio, constituem-se como a mais significativa variável independente que influencia a aprendizagem de novo conteúdo (ibid., p. 42)¹⁴, tornando-se numa máxima que se encontra repetida n vezes na literatura.

A introdução dos conceitos de ‘assimilação’, para referir a reorganização da estrutura mental de modo a incorporar novos conceitos, e de ‘acomodação’, para referir a substituição de uma estrutura por outra, emerge também com Piaget e torna-se parte

¹⁴ Ver também Joseph Novak (1977, pp. 222–238) num trabalho de aprofundamento de Ausubel.

fundamental do modelo padrão da MC (Garrison & Bentley, 1990; Posner et al., 1982; Scott et al., 2007). Segundo Garrison e Bentley (1990, p. 25), no quadro conceitual de Piaget, a aprendizagem inicial em ciência é em larga medida uma tarefa de acomodação conceitual, um processo mais difícil, radical, que o de assimilação.

Como referem Stella Vosniadou e Christos Ioannides (1998, p. 1213), os trabalhos de Joseph Novak, Rosalind Driver e Jack Easley (1978) bem como de Laurence Viennot (1979) são marcos significativos na investigação em educação em ciências no domínio da MC: “eles estiveram entre os primeiros a prestar atenção ao facto de os estudantes trazerem para as tarefas de aprendizagem de ciência quadros conceituais alternativos ou concepções erradas que são robustas e difíceis de erradicar através do ensino.”

O estudo da natureza e da estrutura, destes quadros conceituais prévios à instrução e da sua mudança com a instrução, bem como as implicações pedagógicas decorrentes, ocuparam parte substancial da investigação em MC nas últimas décadas, de carácter eminentemente multidisciplinar, envolvendo as ciências da educação, psicologia e a história e filosofia da ciência (Duschl, Hamilton, & Grandy, 1992). Segundo Vosniadou e Ioannides (1998):

Em anos recentes, a investigação na área do desenvolvimento cognitivo, tem tentado encontrar caminhos para reconciliar o construtivismo piagetiano com os resultados experimentais que mostram, por um lado, que as crianças são muito mais aptas cognitivamente do que Piaget originalmente pensou e, por outro, que as estruturas conceituais iniciais experienciam mudanças radicais durante o desenvolvimento (p. 1214)

Um resultado que parece assente, e que vem já dos trabalhos de Ausubel e de Novak é que as estruturas mentais têm um carácter modular e não global, i.e., são específicas do domínio ou área do conhecimento (*domain-specific*) e não independentes do domínio do conhecimento.

Várias críticas têm sido apontadas à proposta de Posner et al. (1982) que já denominámos, seguindo aliás a literatura, de modelo padrão ou clássico de MC. Este modelo entra em conflito com evidências abundantes de que a mudança conceitual é difícil de conseguir, pelo menos de modo completo, e mesmo muito difícil de alcançar em algumas áreas do conhecimento científico. De facto, como nos diz Michelene Chi (2008, p. 72) o problema da concepção errada (*misconception*)¹⁵ robusta, ou seja, a

¹⁵ Chi e Roscoe (2002) utilizam o termo concepção errada (*misconception*) para referir aquelas concepções persistentes mesmo após instrução adequada. O termo concepções prévias (*preconceptions*), por sua vez, é utilizado para referir as concepções presentes no aluno e mais facilmente alteradas ou removidas após instrução. O nosso uso vai depender muito do contexto, mas, regra geral, evitamos usar o termo concepções erradas.

existências de concepções erradas, não apenas em conflito com as cientificamente aceites mas, além do mais, difíceis de rever ou superar, está hoje documentado em “literalmente milhares” de estudos sobre os mais variados conceitos e fenómenos científicos (Pfundt & Duit, 1994).

Ora, segundo Posner et al. (1982, pp. 216 – 222), para que ocorra a mudança concetual é necessário e suficiente a satisfação de quatro condições: a) insatisfação (racional) com a concepção existente, b) inteligibilidade da nova concepção, c) plausibilidade (ou seja, a nova concepção encaixa na ecologia concetual¹⁶ do aluno), d) a nova concepção deve deter uma heurística positiva. Este modelo da MC exige um conjunto de pressupostos puramente racionais, sem elementos afetivos, culturais ou emocionais, que não permitem explicar o problema das concepções prévias persistentes.

Como afirmam Vosniadou e Ioannides (1998), o modelo padrão da MC:

Centra-se na incompatibilidade entre dois sistemas explicativos distintos e igualmente bem organizados, um dos quais necessita ser abandonado em favor do outro. Os resultados [da investigação em MC], no entanto, sugerem que a mudança concetual é uma lenta revisão de um sistema concetual inicial através de incorporação gradual de elementos das explicações científicas correntemente aceites. (p. 1222)

Deste modo Vosniadou e Ioannides (1998) atacam o modelo padrão, por um lado, sugerindo que seria ilusório supor que o conhecimento prévio do aluno e o conhecimento científico a ensinar tenham um nível de organização semelhante, e por outro, defendendo que a mudança radical de concepções é apenas um dos tipos de mudança e que a investigação tem revelado que em geral não é a que se encontra como resultante dos processos de instrução. Ainda Vosniadou e Skopeliti (2014) salientam que a teoria da MC padrão de Posner et al. (1982) é o “resultado de um processo racional de substituição de teorias por alunos que se comportam mais ou menos como cientistas”, concepção que tem a firme oposição de vários autores (e.g., Greiffenhagen & Sherman, 2008).

Este problema, da mudança concetual como um processo puramente racional como defende o modelo padrão, ou como um processo onde elementos afetivos,

¹⁶ Como afirmam Posner et al. (1982, pp. 212–213) “acreditamos que o *inquiry* e aprendizagem ocorrem contra um fundo de conceitos existentes no aluno. Sempre que o aluno encontra um novo fenómeno, tem de se apoiar nos seus conceitos já existentes para organizar a sua investigação. Sem tais conceitos é impossível ao aluno elaborar uma questão sobre o fenómeno, saber o que conta como resposta à questão, ou distinguir aspetos relevantes dos irrelevantes. Sem conceitos, o mundo é e permanece o “extremo zumbido da desordem” (*blooming buzzing confusion*) de William James. Pedindo emprestado uma frase de Stephen Toulmin, referimo-nos a esses conceitos que orientam a mudança concetual como uma ‘ecologia conceptual.’”

emocionais, culturais, não puramente lógicos, em qualquer dos casos, desempenham um papel relevante, deve então ser objeto de análise. Vários autores exploram este assunto, tais como Vosniadou e Skopeliti (2014), Peter Hewson (1981, 1992), George Zhou (2010) e Pintrich, Marx e Boyle (1993).

Vosniadou e Skopeliti (2014) fazem uma distinção entre concepções iniciais antes de instrução, e concepções sintéticas construídas após os alunos serem expostos ao ensino e que resultam das tentativas de reconciliarem as suas concepções iniciais com as científicas. A concepção sintética resultaria assim de um processo pessoal e social de construção de conhecimento em sala de aula na presença de um esforço de manutenção das estruturas conceituais prévias.

Hewson (1981), – integrando a sua análise numa extensão da teoria padrão da MC – refere a importância para a MC de cada aluno, da força dos seus compromissos metafísicos. Como exemplo, a vinculação de um aluno a um compromisso ontológico de espaço absoluto – e supondo que esse aluno não teve qualquer contato com a relatividade restrita, é certamente diferente da de um aluno que já tenha estudado o assunto. Em particular, e elaborando em torno da individualidade/partilha da ecologia conceitual, Hewson (1992) refere:

O conhecimento que um aluno ganha apenas tem validade em termos da, e é portanto relativo, à sua ecologia conceitual. Uma vez que a ecologia conceitual de um aluno é um produto de todas as suas experiências e interações sociais, terá muitos elementos em comum com a [ecologia conceitual de] outras pessoas (p. 9)

Por sua vez, Paul Pintrich et al. (1993), propõem que o fracasso do modelo padrão em explicar a persistência de concepções erradas apesar de vários anos de instrução pode ser devida ao enfoque, apenas, em estruturas cognitivas e ao “evitar de constructos tais como objetivos individuais, intenções, propósitos, expectativas ou necessidades” (p. 168).

Por outro lado Zhou (2010), após uma breve análise de estudos empíricos que parecem trazer evidências contra a teoria padrão da MC, e partindo do princípio largamente reportado na literatura que releva como fundamental o papel do argumento e da argumentação tanto na ciência como na educação em ciência, fundamenta uma proposta que ultrapassa processos puramente lógicos.

Nesse mesmo sentido, Driver, Newton e Osborne (2000) referem:

Ao contrário do conteúdo da ciência (...) existe grande discordância relativamente ao modo que a ciência é trabalhada. Apesar disto, nós defendemos que tem havido uma tendência global no último meio século, de afastamento em ver a ciência como um processo empírico, onde reivindicações sobre a verdade estão fundadas na observação.

Em seu lugar, a mudança de posição tem sido em direção a uma visão da ciência como um processo social de construção do conhecimento que envolve a conjectura, retórica e argumento (p. 295)

Antes, já Driver et al. (1994) haviam reportado a importância da argumentação, agora na educação em ciência, pois “as atividades e intervenções dos professores são (...) retratadas como promovendo o pensamento e a reflexão da parte do aluno com pedidos de argumento e evidência como suporte das suas afirmações” (p. 7), acrescentando que constatavam “uma significativa omissão desta perspectiva na construção do conhecimento [do aluno].” Isto porque:

O desenvolvimento das estruturas cognitivas dos alunos são vistas como desenvolvendo-se através da interação dessas estruturas com aspectos de uma realidade física externa, com a construção de significado a ser estimulado por interação com os pares. *O que não é considerado de modo relevante é a interação dos alunos com realidades simbólicas, as ferramentas culturais da ciência.* [ênfase nossa] (id., ibid.)

Assim, se o modelo padrão da MC continua a funcionar como *pivot* em torno do qual muito do estudo sobre a aprendizagem em ciências se desenvolve, já não pode ser sustentado quando confrontado com estudos teóricos ou empíricos.

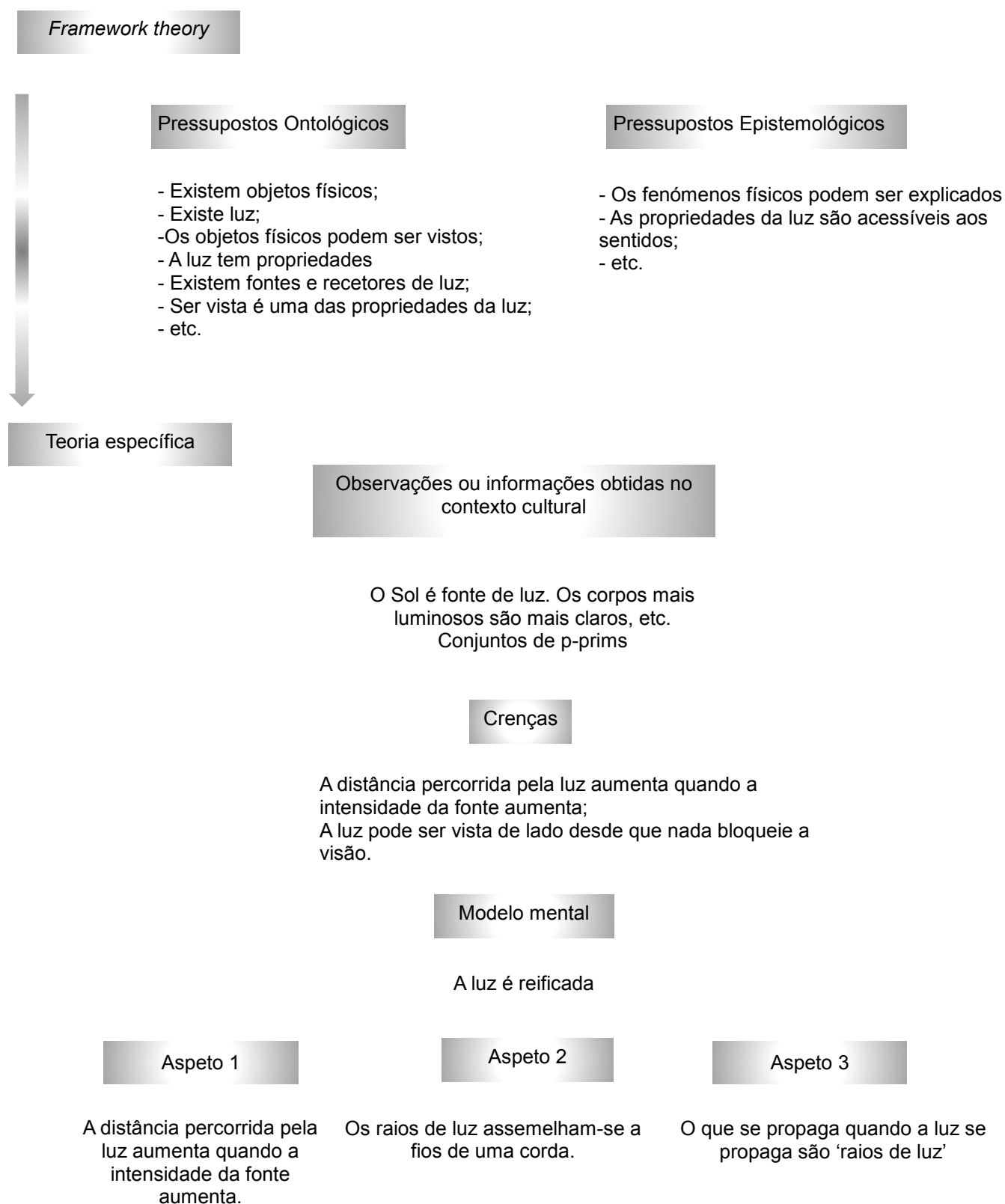


Figura 3. Estrutura conceitual subjacente ao modelo mental luz como uma entidade corpórea.

Para além do modelo padrão de mudança concetual

Stella Vosniadou (1994)¹⁷, trabalhando o domínio da física, argumenta que os conceitos estão imersos em estruturas mais vastas que denomina de *framework theory*¹⁸ e que são constituídas por pressupostos epistemológicos e ontológicos (Figura 3).

Ainda que Vosniadou et al. (1998, p. 1216) defenda que a *framework theory* “constrange o processo de aquisição de conhecimento sobre o mundo físico em modos análogos àqueles que os programas de investigação e paradigmas” constroem o desenvolvimento de teorias científicas, pensamos que esta analogia ou é errada (Greiffenhagen & Sherman, 2008), ou deve ser tomada apenas como um recurso heurístico para a exposição da sua teoria de MC. De facto, é a própria Vosniadou (1998) a admitir que “o uso do termo ‘teoria’ pode ser enganador”, explicando:

O que queremos significar por *framework theory* é uma estrutura concetual esquemática que fornece o fundamento para os nossos compromissos ontológicos mais profundos e nos termos dos quais nós compreendemos o mundo. Uma *framework theory* é muito diferente de uma teoria científica. Não é explícita, bem formada e socialmente partilhada, não tem o poder explicativo e consistência interna de teorias científicas, não é sujeita a reflexão metaconcetual, e não é sistematicamente testada para confirmação ou falsificação¹⁹.

No entanto, Vosniadou e colegas escolheram chamar ‘teoria’ “pois é um sistema baseado em postulados, o qual é caracterizado por uma distinta ontologia e causalidade e que é generativo no sentido de que pode realizar previsões e explicações” (id., ibid.).

Para além da *framework theory*, é defendido por Stella Vosniadou (1994) a existência de uma teoria específica (*specific theory*), usada para explicar um conjunto limitado de fenómenos, consistindo num “conjunto de proposições interrelacionadas ou de crenças.” Estas crenças, por sua vez, são geradas através da observação e/ou através de informação disponibilizada pelo meio cultural. As crenças surgem assim como constrangimentos de segunda ordem (onde os compromissos ontológicos e epistemológicos são os constrangimentos de primeira ordem) que “surgem da própria estrutura do conhecimento adquirido, à medida que essa estrutura impõe a sua própria influência no processo de aquisição do conhecimento.” (id., p. 48)

¹⁷ Uma abordagem recente com novos resultados teóricos e empíricos da abordagem à MC proposta por Stella Vosniadou e colegas pode ser consultada em e.g. Vosniadou (2014).

¹⁸ Por não encontrarmos tradução que possa referir satisfatoriamente a ideia de Vosniadou, deixamos no original. Segundo a autora, por *framework theory* quer significar um quadro explicativo causal para organizar os fenómenos físicos. Em particular uma *framework theory* não é suscetível de uma perceção consciente nem de teste de hipótese.

¹⁹ Ignoramos esta passagem infeliz de Vosniadou pois só utilizando as palavras despreocupadamente se pode falar em confirmação de uma teoria.

Por fim, um último constructo teórico na teoria de MC de Vosniadou e colegas é o de modelos mentais. Estes são estruturas dinâmicas e representações generativas usadas na solução de problemas. Os modelos mentais são em geral criados no momento de modo a gerar explicações causais e realizar previsões dos fenómenos físicos em consideração – ainda que Vosniadou (1994) assuma que alguns modelos mentais, que se revelaram de grande utilidade no passado, possam, total ou parcialmente, ser guardados em diferentes estruturas na memória de longa duração e acionados quando necessário.

Vosniadou (1994) argumenta, que é nos modelos mentais que nova informação é incorporada no conhecimento do domínio em consideração, funcionando então, o modelo mental como um terceiro constrangimento à modificação do conhecimento. Com a instrução, gera-se uma fragmentação de concepções que se expressa pelo aumento de aspetos que os modelos mentais podem exibir (Vosniadou & Skopeliti, 2014; Vosniadou, 2014).

O modelo mental pode colocar em evidência informação sobre as “estruturas do conhecimento subjacentes” (Vosniadou, 1994, p. 48) – teorias específicas e *framework theory* – a partir das quais ele é gerado. No entanto, uma *framework theory* e uma teoria específica pode gerar vários modelos mentais, pelo que a identificação dos constrangimentos de primeira e segunda ordem podem-se realizar pela identificação de modelos mentais genéricos que os alunos usam para responder a uma variedade de questões relacionadas com um dado conceito. Na Figura 3 podemos ver a estrutura concetual (hipotética) subjacente ao modelo mental de luz como uma entidade corpórea e que se constitui como uma adaptação nossa da estrutura avançada por Vosniadou (1994, p. 61) para o conceito de força.

Este modelo de mudança concetual avançado por Stella Vosniadou e colegas tem uma estrutura que apresenta coerência, ou seja, não é fragmentado: são poucos os modelos mentais apresentados por um aluno relativamente a um conceito; além do mais, eles diversificam-se e surgem outros com o ensino. Esta característica do modelo é partilhada por outros modelos de MC.

Susan Carey (2009) com o modelo de teorias intuitivas, e trabalho de Michelene Chi e colegas (Chi, 2005; Reiner, Slotta, Chi, & Resnick, 2000), que têm prestado uma especial atenção à atribuição de características de substâncias materiais a conceitos como calor, eletricidade etc., na literatura de concepções prévias, e que defendem algum grau de coerência na estrutura concetual são alguns exemplos de modelos de MC não fragmentados. Como afirmam Reiner et al. (2000):

A nossa tese é que este conhecimento geral das substâncias materiais, das suas

propriedades, e do seu comportamento, é explorada como uma fonte de informação conceitual sempre que um [aluno] principiante encontra um novo conceito físico difícil. Assim, os [alunos] principiantes podem estar inclinados a pensar que conceitos como luz, calor e eletricidade são mesmo substâncias, comportam-se como objetos materiais, ou são, de algum modo, propriedades inerentes de objetos (p. 3)

Do outro lado da vedação²⁰, do lado da estrutura conceitual fragmentada, em pedaços, surge o trabalho de Andrea diSessa e colegas (diSessa, Gillespie, & Esterly, 2004; DiSessa & Sherin, 1998; DiSessa, 2008; Smith, DiSessa, & Roschelle, 2004). Conhecido como “Conhecimento em Pedacos” (CeP)²¹, é fortemente baseado em processos cognitivos. Uma linha fundamental de diSessa, é procurar estruturas cognitivas a um nível mais fino do que e.g., Stella Vosniadou ou Susan Carey (2009). A estrutura conceitual organizadora é entendida como essencialmente fragmentada, tendo diSessa (1993, pp. 111 – 112) identificado estruturas fenomenológicas que denominou de primitivos fenomenológicos (*p-prims*)²².

São fenomenológicos em dois sentidos. Por um lado surgem a maior parte das vezes de interpretações superficiais da realidade experienciada, e por outro, porque, uma vez originados, “constituem-se como um vocabulário rico [com o qual] as pessoas evocam e interpretam a sua experiência” (id., *ibid.*).

São primitivos também em dois sentidos. São muitas vezes “autoexplicativos e são usados como se não necessitassem de nenhuma justificação” e por outro lado, serão as estruturas mentais com um carácter mais nuclear e isolado que se pode encontrar.

Os *p-prims* têm origem em abstrações muito superficiais dos fenómenos do dia-a-dia (diSessa, 1993, p. 111). Referindo-se à física, diSessa (2002, p. 40) identifica alguns importantes *p-prims* que aqui referimos pois a sua natureza e estrutura fica assim mais clara:

- O esforço ultrapassa uma resistência para chegar a um resultado. Este *p-prim* conduz à expectativa de que mais esforço leva a mais resultados ou então, mais resistência implica menos resultados, etc. (conhecido por *p-prim* de Ohm);
- A força como um movimento, ou uma abstração de um empurrão ou uma perturbação. As coisas movem-se na direção em que as empurramos.

²⁰ Andrea diSessa em 2008 escreveu um artigo intitulado: *A Bird's-Eye View of the "Pieces" vs. "Coherence" Controversy (From the "Pieces" Side of the Fence)*, Vosniadou responde em 2013 com *Conceptual Change from the Framework Theory Side of the Fence*. A analogia da vedação a separar as concepções de organização coerentes das organizações conceituais fragmentárias é assim usada por dois dos seus principais proponentes.

²¹ Na literatura, *Knowledge in pieces (KiP)* desenvolvido por diSessa (1993).

²² Em inglês, *phenomenological primitives*, que é abreviado na literatura por *p-prims* (DiSessa & Sherin, 1998; diSessa, 1993)

- Enfraquecer com o tempo. O movimento induzido fica mais lento (ou menos intenso como o som de um sino) com o passar do tempo;
- Equilíbrio dinâmico: por vezes os esforços competem uns com outros e cancelam-se, como duas pessoas de igual força a puxarem uma pela outra;
- Superação: uma situação de esforços em competição, onde um diminui ou aumenta, leva a uma mudança característica do resultado associado a um esforço para o resultado associado ao outro;
- Retoma do equilíbrio: sistemas que estão fora de equilíbrio tendem a voltar à situação de equilíbrio.
- Elasticidade generalizada: em sistemas fora de equilíbrio, a deslocação do equilíbrio é proporcional à quantidade de perturbação aplicada;

Estes exemplos de *p-prims*, essencialmente ligados ao estudo empírico da MC na mecânica, revelam a sua natureza fenomenológica.

O que acontece com a aprendizagem é que alguns *p-prims* mudam a sua função de entidades autoexplicativas e relativamente isoladas para elementos de uma estrutura mais vasta e complexa como por exemplo leis físicas. Neste processo, alguns *p-prims* ganham importância e outros perdem relevância na estrutura mental do aluno, outros ainda são adquiridos no processo.

Ora, Vosniadou (2009, p. 23) não encontra uma incompatibilidade entre a sua abordagem e a de diSessa. Por um lado integra os *p-prims* (“ou algo semelhante aos *p-prims* de diSessa”) na sua estrutura ‘crenças’. Por outro, defende que a fragmentação é resultante do processo de ensino e não anterior a ele, e perante as críticas de Smith et al. (2004), Vosniadou et al. (2014) defende a posição construtivista do seu modelo de mudança concetual:

A framework theory tem uma abordagem construtivista [ao ensino-aprendizagem], a qual defende que tipos construtivos de mecanismos podem levar a uma gradual revisão do conhecimento prévio levando a uma mudança concetual. No entanto, fragmentação e conceções sintéticas são, quase inevitavelmente formadas no processo. Argumentamos que de forma a reduzir a fragmentação e conceções sintéticas, devemos desenhar *curricula* centrados no aluno que tomem em consideração as explicações e crenças iniciais dos alunos no contexto da física *naïve*, identificando cuidadosamente as áreas produtivas do conhecimento prévio dos alunos sobre as quais a nova informação científica pode ser construída, enquanto, ao mesmo tempo, se evidencia as áreas que necessitam de revisão. Isso geralmente exige olhar para uma perspectiva de longo prazo na elaboração dos *curricula*, planeando a sequência de conceitos a ser ensinados e as áreas onde deve ser dada atenção particular. (p. 1439)

Para além das indicações instrucionais que Vosniadou retira do seu modelo e

que referimos na passagem acima, Vosniadou (1991, 1994) salienta de igual modo a necessidade de tornar explícito para os alunos aquilo que está implícito, nomeadamente os pressupostos ontológicos e epistemológicos – ação ao nível da *framework theory* – e por outro lado, disponibilizar experiências relevantes de modo a motivar os alunos a perceber as limitações das suas explicações – ação ao nível da teoria específica.

Também diSessa (2008, p. 45,46) retira consequências pedagógicas do seu modelo: a) “Uma aprendizagem duradoura leva tempo”, ou, não é possível fugir ao tempo e ao esforço. Como diSessa admite, este resultado pedagógico pode ser retirado de várias abordagens à MC, e certamente da *framework theory*, dizemos nós; b) “Uma aprendizagem duradoura requer aprendizagem em vários contextos.” DiSessa (2004, pp. 849–854) parece cair no erro de atribuir muito poucas – ou mesmo apenas uma, no limite – teorias intuitivas a um aluno para mapear, de acordo com a *framework theory*, uma teoria científica. Ora a fragmentação é, de acordo com Vosniadou e Skopeliti (2014) um resultado da instrução:

Não esperamos que os estudantes detenham concepções unitárias, isoladas e contexto-independentes. Os estudantes criam frequentemente modelos e explicações circunstanciais construídas no momento para lidar com as exigências de situações específicas. (...) A história pessoal de aprendizagem de um aluno é única – não existem, provavelmente, dois estudantes com exatamente o mesmo entendimento em diferentes contextos

Deste modo, ainda que no âmbito da concepção de MC de diSessa, com a fragmentação resultante da experiência diária como um dado *a priori*, seja mais evidente a necessidade instrucional de utilização de contextos variados suscetíveis de desencadear os mais diversos *p-prims* relevantes para a aprendizagem, a fragmentação que resulta do ensino, segundo a teoria de Vosniadou, e a consequente contextualização das teorias específicas com a instrução levam à necessidade pedagógica de providenciar diversos contextos também no âmbito da *framework theory*; c) No processo de ensino-aprendizagem, as concepções alternativas dos alunos devem ser encaradas como recursos e não como obstáculos à aprendizagem. Esta asserção de diSessa é certamente mais motivadora e promotora de interesse pela aprendizagem do que a visão das concepções alternativas como obstáculos. Vosniadou e Skopeliti (2014) não discordam desta abordagem, pois referem a necessidade de identificar, cuidadosamente, as áreas férteis dos conhecimentos prévios dos alunos, não perdendo de vista a necessidade de reexaminar ou corrigir as outras.

Por fim, diSessa (2008, p. 46) salienta mais dois aspetos que, no seu entender, diferem na visão CeP da mudança concetual relativamente à *framework theory*, a saber,

a formação metaconceitual dos alunos – diferentes alunos exigirão diferentes abordagens pedagógicas no seu processo de aprendizagem – uma visão que a *framework theory* também suporta, ainda que numa versão mais matizada, e o diferente processo de avaliação implicado pelo CeP ou pela *framework theory*.

No entanto, como Hammer (1996, p. 123) avisadamente refere:

Seria enganador indicar implicações instrucionais das perspetivas das conceções erradas ou dos *p-prims* [entenda-se: da perspetiva da *framework theory* ou do CeP] diretamente em termos de intervenção [pedagógica]. Com ou sem estas perspetivas, as perceções dos professores sobre os estudantes permanecem incompletas e ambíguas e a prática de ensino incerta. Tal estado de coisas não é confortável para os investigadores, pois a prática da investigação, em geral, envolve a procura pelo definitivo, o entendimento dos princípios, mas é um facto da vida para os professores.

Deste modo Hammer (1996) sugere:

Uma posição epistemologicamente modesta no que respeita às implicações instrucionais da investigação em educação: tanto os investigadores como os professores devem, pelo menos para já, entender a investigação como apoiando o desenvolvimento de ferramentas conceituais para os professores; o ampliar e suportar a consciência, discernimento, e *inquiry* [*awareness, judgment, and inquiry*], mais do que fornecer resultados e princípios fiáveis ou como prescrevendo métodos e *curricula*. (ibid.)

Esta posição cautelosa (mas não pessimista) é suportada em termos experimentais, pelo resultado negativo da *quasi*-replicação da experiência de Vosniadou e colegas (diSessa et al., 2004) e na vertente teórica, por orientações pedagógicas que ambos os lados, ainda que com ênfases diferentes, defendem como resultantes da sua abordagem à MC.

Esta não é no entanto uma posição de ‘tudo serve’, pois o que é interessante é que algumas indicações pedagógicas surgem repetidamente e com grande ênfase: necessidade de abordagem metaconceitual explícita em sala de aula, construir o novo conhecimento aproveitando as conceções alternativas que se revelam férteis (Clement, Brown, & Zietsman, 1989), disponibilizar um reportório de experiências relevantes que evoquem contextos diversos, sequenciar nos curricula os vários conceitos e esperar trabalho e tempo para a obtenção de resultados.

Portanto, ainda que na análise de resultados utilizemos parcialmente a construção de Minstrell (Minstrell, 1992, 1996; Zee & Minstrell, 1997) de “aspetos do conhecimento”²³ apenas o fazemos pela sua utilidade heurística, pois estamos de

²³ Jim Minstrell, desde 1987, formula e compila *facets of knowledge* (que traduzimos por aspetos

acordo com Hammer (1996) segundo o qual a abordagem de Jim Minstrell (ibid.), influenciada pela perspectiva dos *p-primis* “é um exemplo de um constructo desenhada mais como uma ferramenta para os professores do que um modelo teórico e empiricamente defensável” (p. 123).

No entanto se olharmos para a literatura de modo mais superficial, a referência à relação entre o instrumento desenvolvido por Jim Minstrell (ibid.) como sendo resultante, nuns casos, ou como sendo fundado, noutros, na construção da MC do *Knowledge in Pieces* é apresentada como facto relevante: Relevante tanto para a fundamentação empírica do modelo de diSessa e colegas (diSessa et al., 2004; DiSessa, 2008), como para a fundamentação teórica da abordagem instrucional de Minstrell (Minstrell, 1992, 1996; Zee & Minstrell, 1997).

2.6 Da Problematização do Conhecimento à Nossa Abordagem ao Ensino-aprendizagem

Até agora, temos utilizado o termo conhecimento supondo que ele é percebido de modo não problemático. No entanto, o nosso objetivo de analisar a evolução do conhecimento de conteúdo, processual e de contexto dos alunos exige que vejamos mais de perto os seus significados. Por outro lado, veremos que investigação em áreas diferentes confluem em algumas hipóteses relevantes relacionadas com o processo de ensino-aprendizagem. Por fim, iremos posicionar-nos epistemologicamente como professor-investigador, assunto que será reforçado quando abordarmos as nossas opções metodológicas no capítulo 3.

2.6.1 Uso do constructo conhecimento em educação

Vários autores têm procedido a uma análise do uso e significado da palavra ‘conhecimento’ em educação (Alexander & Judy, 1988; Alexander, Schallert, & Hare, 1991; Jong & Ferguson-Hessler, 1996). Aqui, vamos focar-nos na análise desenvolvida por Patricia Alexander, Schallert e Hare (1991). Como salientam:

Do uso indiferenciado de um constructo genérico denominado *conhecimento* em meados

do conhecimento) em várias áreas disciplinares. Estes ‘aspetos’ são simples frases, por vezes ligeiríssimas abstrações das afirmações dos alunos, que traduzem um conhecimento de conteúdo ou processual ou mesmo estratégico do aluno quando confrontado com determinada tarefa de ensino-aprendizagem. “Um corpo em repouso não exerce força” ou “Não existe força a não ser que exista movimento” são exemplos de aspetos do conhecimento sobre força. As facetas do conhecimento são mais específicas do conhecimento e portanto menos fundamentais que os *p-primis*.

dos anos setenta para uma crescente proliferação de termos fracamente especificados nos anos oitenta, os investigadores têm, pensamos, progredido para um ponto onde podem e devem começar a ser mais concretos e precisos no seu uso. (p. 316)

Neste sentido, e sem qualquer pretensão de normalizar o uso dos termos, mas sim de construir um quadro concetual de modo a permitir uma clarificação dos termos a partir do efetivo uso do termo ‘conhecimento’ na literatura em cognição e literacia, Alexander et al. (1991) começam por alertar que o quadro concetual emergente destacará inevitavelmente uma perspectiva estática, contrária à dinâmica que emergirá do conjunto, e avançam os seguintes pressupostos:

- Centram-se numa perspectiva individual do conhecimento, pois o interesse das autoras “reside em formas de conhecimento atribuídas a um aluno e na *interface desse sistema de conhecimento com o mundo no qual o indivíduo funciona.*” [sublinhado nosso] (id., p. 322);
- Preocuparam-se com as formas ou tipos²⁴ de conhecimento, não com a sua ativação;
- Defendem que as formas do conhecimento são fluidas e dinâmicas. Como adiantam, “não apenas estas formas variam entre indivíduos, mas variam no interior dos próprios indivíduos, como consequência da pessoa, tarefa ou contexto.” (id., ibid.);
- Todas as formas de conhecimento são interativas: a presença, ou ativação de uma forma de conhecimento pode influenciar direta ou indiretamente qualquer outra;
- Cada uma das formas de conhecimento (conhecimento de conteúdo, conhecimento linguístico ou outro) pode conter todos os tipos de conhecimento: conhecimento declarativo, conhecimento processual e conhecimento condicional. Ou seja, como referem Alexander et al. (1991), quando sabemos alguma coisa sob alguma forma (conteúdo, linguístico, etc.), “podemos conhecer não apenas informação factual sobre [o que sabemos] (conhecimento declarativo), mas também como usar esse conhecimento em certos processos ou rotinas (conhecimento processual) (...), ou conhecer quando e onde esse conhecimento será aplicável (conhecimento condicional)” (p. 323), adiantando que “estes três tipos de conhecimento são distintos; a aquisição de conhecimento em uma forma, não garante automática e imediatamente conhecimento nas outras formas [pois] é certamente possível saber ‘o quê’ de uma coisa, sem conhecer o ‘como’ ou o ‘quando’.” (ibid.)

A Figura 4 mostra o quadro organizador do constructo ‘conhecimento’ segundo Alexander et al. (1991). Os conhecimentos concetual e metacognitivo interagem entre si e numa situação ou tarefa particular, são ativados e usados. Estes conhecimentos interagem também com o conhecimento tácito, não consciente. O conhecimento

²⁴ Sobre formas e tipos de conhecimento, ver e.g. Jong e Ferguson-Hessler (1996).

sociocultural é parte deste conhecimento tácito e orienta (em geral implicitamente) toda a experiência social do indivíduo.

A fluidez existe também entre tipos de conhecimento. Ainda que o conhecimento tácito permaneça em geral um conhecimento não consciente, sob determinadas circunstâncias, ou para tarefas específicas, pode tornar-se explícito e vice-versa.

O conhecimento conceitual contém várias formas de conhecimento. É ao conhecimento disciplinar, que é definido (id., ibid.) como um subconjunto mais formal do conhecimento de domínio e que corresponde, e.g. ao conhecimento de uma disciplina académica, que nos referiremos aquando da discussão dos resultados sobre a evolução do conhecimento dos alunos.

Outras construções (e.g., Jong & Ferguson-Hessler, 1996) evidenciando a dinâmica do conhecimento individual, a fluidez entre os diversos planos constitutivos do conhecimento, a variação das formas de conhecimento com o contexto, tarefa e indivíduo, a importância da interação social e o papel central do discurso e da palavra no conhecimento conceitual, são consistentes com este e outros estudos vindos da filosofia da ciência, da psicologia e da educação em ciências.

Olga Pombo (2000) começa o seu texto intitulado 'comunicação e construção do conhecimento' com uma citação do filósofo alemão do fim do século XVIII e início do século XIX, Schleiermacher:

O princípio primeiro de todo o esforço voltado para o conhecimento é o da comunicação e, dada a impossibilidade de produzir seja o que for, ainda que só para nós próprios, sem linguagem, a própria natureza formulou de forma inequívoca esse princípio. Por isso se terão que constituir, a partir do puro impulso de conhecimento, todas as relações necessárias para a realização funcional do conhecimento bem assim como diversas formas de comunicação e interação entre as várias atividades.

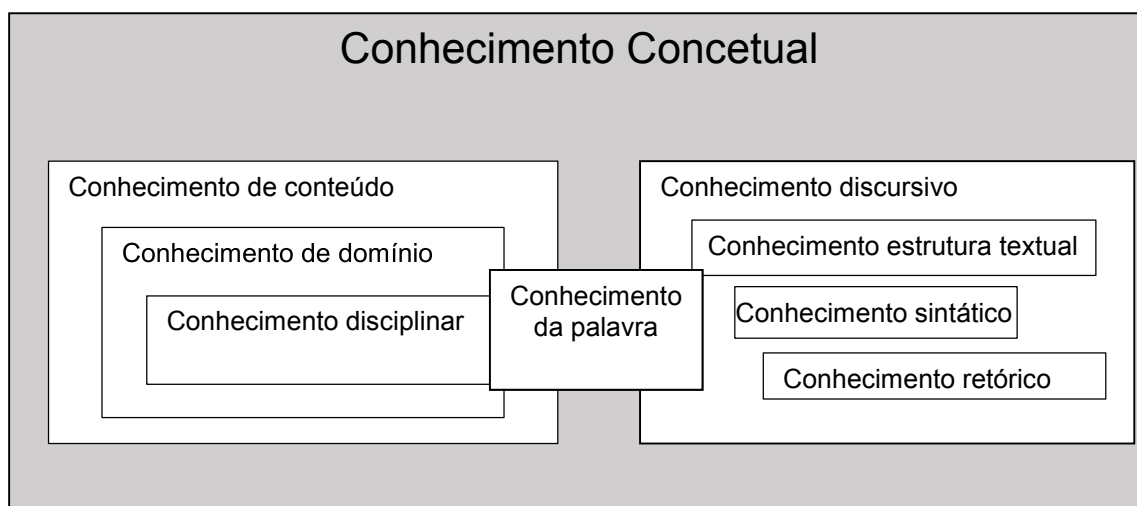
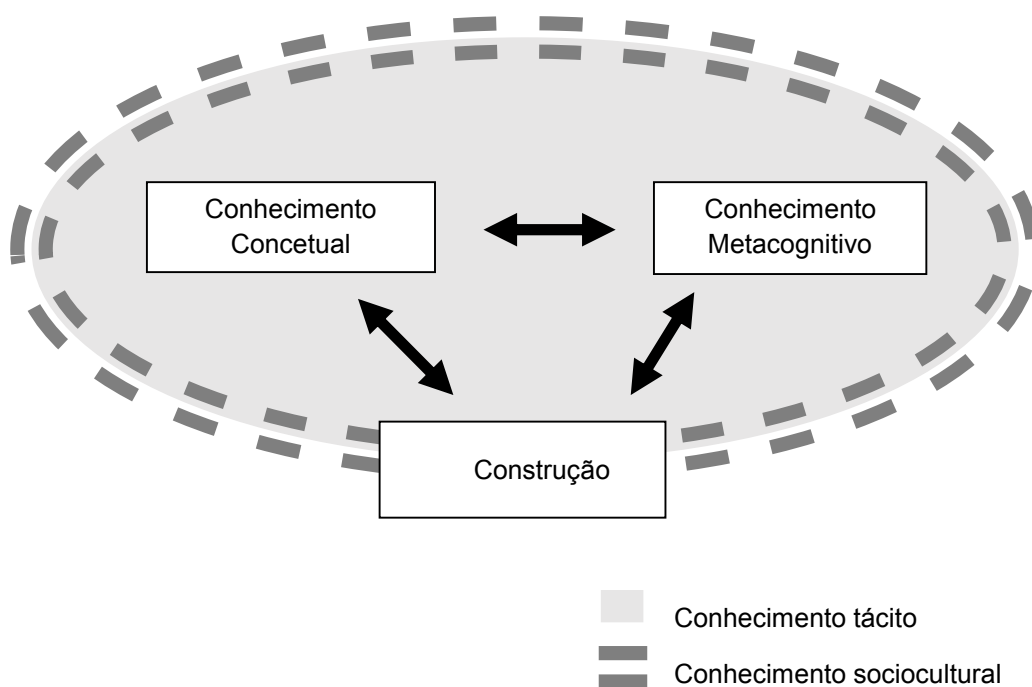


Figura 4. O constructo “conhecimento” (em cima), e “conhecimento concetual”. Adaptado de Alexander et al. (1991)

Conhecimento e comunicação estão assim intimamente ligados; “a comunicação é constitutiva do processo de construção do conhecimento” (id., *ibid.*). Além do mais, se a escola surge com a ciência (Pombo, 2011), é porque as novas formas de utilização da linguagem que surgem na Grécia Antiga, “permitem constituir um discurso partilhável.”

Fritz Kubli (2005), analisando algumas implicações educacionais dos trabalhos de Bakhtin e Vygotsky, afirma que “ensinar é uma interação com a atividade mental do aluno, e a arena deste esforço para influenciar o estudante é o sistema partilhado de linguagem.” (p. 508) John Dewey e Vygotsky partilham uma visão semelhante da função

da linguagem (Garrison, 1995; Sutinen, 2007). Numa outra linha, David Hammer (1995, p. 394) salienta a orientação para o conteúdo prevalecente no ensino inicial de física, ao mesmo tempo que é hoje aceite que existem “outros aspetos do conhecimento e raciocínio do estudante para além das suas concepções dos fenómenos físicos, tais como o entendimento deles mesmos e do seu lugar na sociedade, da escola, da física e de aulas de física.” Hammer (ibid.) defende assim que as crenças epistemológicas dos alunos devem ser objeto de trabalho de modo a que do ensino resulte melhores aprendizagens, para o que desenvolveu um quadro concetual para caracterizar “crenças tácitas sobre conhecimento e aprendizagem” (id., ibid.) dos alunos.

O construtivismo social que resulta destas posições, e que adotamos como posição epistemológica enquanto professor-investigador leva-nos a considerar o papel central da comunicação – logo da interação e do diálogo – na promoção de melhores aprendizagens. O conhecimento do aluno é assumido como uma estrutura complexa de planos implícitos, explícitos e de grande fluidez entre e dentro desses planos.

Vamos agora ver que o conhecimento disciplinar do professor não é dado *a priori* mas deve ser trabalhado, sendo transformado num conhecimento a ensinar. A este processo Chevallard chama de transposição didática (Chevallard & Joshua, 1991). Como dizem Chevallard e Johsua (ibid.):

Conhecimento de conteúdo que tenha sido designado como saber a ensinar, sofre uma série de mudanças adaptativas que o tornarão capaz de tomar lugar entre os *objetos de aprendizagem*. O ‘trabalho’ que de um objeto de saber a ensinar faz um objeto de ensino é chamado de transposição didática. [sublinhado no original] (p. 39)

A relação didática (Figura 5) estabelece-se entre três polos, nenhum dos quais não problemático.

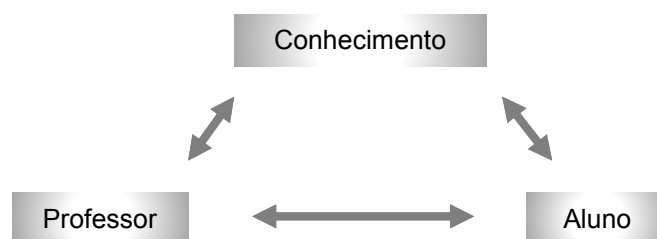


Figura 5. Relação didática.

O conhecimento, expresso num dos vértices da relação didática, já foi objeto de uma transposição didática externa trabalhada a nível nacional e expressa nos

programas e currículos (Chevallard & Joshua, 1991, pp. 23–25). Ainda assim, o professor detém uma larga margem de trabalho sobre esse conhecimento. É o trabalho realizado sobre esse conhecimento (ou a ausência de dele) que levam Tseilin e Galili (2006) a descrever do seguinte modo o ensino tradicional de física (remetemos também para a nossa discussão anterior sobre o prevalente caráter transmissivo do ensino em ciências):

A situação numa aula de ciência por vezes assemelha-se a uma sociedade primitiva, praticando um sistema de signos em lugar de conceitos; o curriculum de ciência torna-se fixo e sagrado. Desvios ao conjunto tradicional de tópicos disciplinares (...) são raros. O comum ensino em física, por exemplo, concentra-se no treino de problemas padrão, numa ordem fixa, sem compreensão concetual. (p. 411)

Chevallard (1991) é acompanhado por Piet Lijnse (1995, 2004) e Méheut e Psillos (2004) em considerar o conhecimento problemático²⁵. Se lermos o ataque de Lijnse (1995) à instrução tradicional em ciência parecemos estar a reconstruir a nossa citação anterior de Tseilin e Galili (ibid.):

Olhando mais de perto o ‘tradicional’ curriculum de ciência, podemos afirmar que em geral os conceitos ensinados são os conceitos básicos da ciência. A sequência na qual são ensinados reflete a sua estrutura ‘lógica’ de base. As situações nas quais estes conceitos são para ser aplicados são as usuais situações paradigmáticas ideais. (p. 190)

Para contrariar este estado de coisas Lijnse (1995), ainda que defenda, e bem, que os curricula Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) introduziram contextos reais na aplicação de conceitos em lugar das situações ideais, também refere que estes *curricula* mantiveram a estrutura concetual e as sequências de ensino-aprendizagem imutáveis, pelo que, afirma, “uma mudança mais radical é necessária”. Nomeadamente, os professores devem-se envolver com os alunos num processo de ensino *bottom-up*, guiando os alunos numa atividade de ‘cientificização’ do seu mundo, “em lugar de tentarem transferir conhecimento científico como um produto acabado” (Lijnse, 1995, p. 160).

De acordo com Lijnse (1995), isto pode ser conseguido desenhando cuidadosamente tarefas de ensino com base numa investigação dos conhecimentos prévios dos alunos e do seu desenvolvimento em relação com o conjunto dessas tarefas. Isto implica assim um desenho cíclico de ensino e investigação, ou, como refere

²⁵ Referimos aqui que não consideramos as abordagens referidas equivalentes entre si. De facto são de algum modo diferentes nos métodos, motivações e estruturas. No entanto a sua consideração de conjunto fornece elementos teóricos de reforço mutuo. Ver também Duschl (2011).

Lijnse, o desenho de um processo deste tipo é necessariamente um processo empírico de “investigação e desenvolvimento” intimamente ligados, que chamou de *development research*.

Méheut e Psillos (2004, p. 521) integra o contributo de Piet Lijnse na linha de investigação em sequências de ensino aprendizagem (TLS²⁶). Nestas, também o conteúdo científico é considerado problemático sendo “trabalhado pelos investigadores de tal modo que origine representações inovadoras de conceitos científicos e suas relações, de acordo com os objetivos da instrução tal como percebida pelo investigador.”

Assim, vamos adotar uma postura eclética e apenas dizer que estes quadros teóricos que consideram o conhecimento como um vértice da relação didática tão problemático como os outros, são seguidos no nosso trabalho.

²⁶ O acrónimo TLS para sequências de ensino-aprendizagem, ou *teaching-learning sequences*, é muito usado na literatura em educação em ciências, pelo que decidimos mantê-lo.

Capítulo 3

Metodologia

No presente capítulo pretendemos enunciar, descrever e justificar vários aspetos referentes à opção metodológica do nosso estudo, a investigação-ação em educação. Pretendemos ainda mostrar a sua operacionalização nos diferentes momentos do estudo. A escolha da investigação-ação em educação resultou da necessidade de responder ao problema de investigação e questões de investigação:

Como a introdução da História e Filosofia das Ciências (HFC) nas práticas de ensino na formação inicial em ciência de educadores e professores do 1º e 2º Ciclo do Ensino Básico contribui para um ensino da ciência humanizado?

- 1. De que modo a HFC modificou a nossa posição teórica relativa ao ensino-aprendizagem e compromissos ontológicos e epistemológicos enquanto professor-investigador?*
- 2. Quais os processos utilizados na transformação das práticas de ensino em direção a um ensino das ciências com HFC?*
- 3. Qual o impacto das alterações das práticas de ensino em direção a um ensino das ciências com HFC nos conhecimentos conceituais, processuais e de contexto dos alunos?*

As questões de investigação enfatizam a nossa centralidade como participante no estudo, bem como os processos de transformação desenvolvidos. Sendo a investigação-ação uma “forma de investigação autorreflexiva, desenvolvida por participantes em situações sociais, de modo a melhorar a racionalidade e justiça das suas próprias práticas, a sua compreensão dessas práticas e as situações nas quais as práticas são desenvolvidas” (Carr & Kemmis, 1986, p. 162) constituiu-se como a escolha metodológica adequada ao estudo.

A investigação-ação em educação levou-nos a trabalhar as relações, já conceptualizadas na literatura, entre investigação-ação pessoal, profissional e política bem como as relações entre a teoria e a prática, o que nos levou a uma rejeição do dualismo teoria-ação: por um lado procurámos ao longo do trabalho, conhecer e transformar a nossa prática, o que nos levou à descoberta das teorias que a informavam; por outro lado o trabalho de investigação contribuiu, dentro dos seus limites, para a teoria que informa o uso da HFC no ensino, de um modo geral, e no ensino da ótica em particular.

A operacionalização da investigação-ação em educação neste estudo foi realizada pela integração, num todo coerente, de um conjunto de oito pontos

orientadores adaptados da literatura, levando a que não adotássemos uma definição simples e direta para a metodologia, mas a concebêssemos como uma relação intrincada de aspetos não suscetíveis de ser isolados. Após uma breve abordagem à investigação-ação como metodologia com história na investigação em educação, conceptualizámos o ensino como processo social e colaborativo. Para o efeito, a função central da linguagem como constructo social partilhado, assumiu, na nossa argumentação, um relevo particular.

Apresentamos o desenho da investigação e realizamos uma abordagem à narrativa neste estudo. A narrativa não foi uma metodologia que adicionámos à investigação-ação em educação, mas um método de investigação que no presente trabalho foi integrante da investigação-ação em educação.

Antes de tratarmos das questões da validade e questões éticas e como foram tratadas na investigação, desenvolveremos a abordagem de Jim Minstrell e dos “aspetos do conhecimento” dos alunos (*facets of knowledge*), que este funda no modelo de mudança conceptual de diSessa (2008) e que utilizamos para analisar dados de um questionário.

3.1 Investigação-Ação

Segundo Jean McNiff e Jack Whitehead (2002) a investigação-ação é “uma forma de prática que envolve recolha de dados, reflexão sobre a ação tal como apresentada pelos dados, geração de evidências a partir dos dados e produção de afirmações de conhecimento” (p. 16) fundamentadas em evidências.

Por seu lado, para John Elliott (2001), “o objetivo fundamental da investigação-ação é melhorar a prática mais do que produzir conhecimento. A produção e utilização do conhecimento é subordinada e condicionada por esse objetivo fundamental” (p. 49), ideia que reencontramos em, por exemplo, Diana Burton e Steve Bartlett (2005). Já para Geoffrey Mills (2003) a investigação-ação seria, numa definição que lembra a apresentada por Elliott:

Qualquer investigação sistemática conduzida por professores investigadores (...) e outros participantes no processo de ensino/aprendizagem, para recolher informação sobre como as suas escolas funcionam, como ensinam, e quão bem os seus estudantes aprendem. Esta informação é recolhida com o objetivo de ganhar um conhecimento, desenvolver uma prática reflexiva, efetuar mudanças positivas no ambiente da escola (e nas práticas educacionais em geral), e melhorar os resultados dos estudantes e as vidas dos envolvidos no processo. (p. 6)

Para Wilfred Carr e Stephen Kemmis (1986) a investigação-ação “é simplesmente uma forma de investigação autorreflexiva, desenvolvida por participantes em situações sociais, de modo a melhorar a racionalidade e justiça das suas próprias práticas, a sua compreensão dessas práticas e as situações nas quais as práticas são desenvolvidas.” (p. 162)

Valsa Koshy (2008), por sua vez, após recensear um conjunto de definições da literatura, conclui:

Muito da literatura sobre investigação-ação, enfatiza a natureza prática deste tipo de investigação. Relaciona-se com as práticas de pessoas, muitas vezes no seu local [de trabalho]. O seu principal objetivo é melhorar a prática – seja a sua própria prática, ou a eficácia de uma instituição.” (p.9)

Esta primeira abordagem à investigação-ação coloca algumas questões: o que é entendido por prática, porque o conhecimento (teoria) surge, em algumas abordagens da investigação-ação, subordinada à prática, qual a relação entre teoria e prática na investigação-ação, o que os dados apresentam, ou seja, qual o nosso compromisso ontológico, e como as evidências surgem dos dados.

A reflexão e a procura pela compreensão da investigação-ação realizada pelos investigadores na própria ação investigativa, levou a um melhor entendimento do que é esta metodologia pelos autores. Como afirmam McNiff e Whitehead (2002), na primeira edição do seu trabalho em 1988, reconhecem que escreveram sobre a investigação-ação de modo não problemático. Após vários anos de trabalho e reflexão, a investigação-ação começou então a deixar de ser vista como “um conjunto concreto de passos (...) mas um jogo dialético entre prática, reflexão e aprendizagem.” (p.14)

Procuramos de seguida, seguindo algumas propostas existentes na literatura, fundamentar uma conceção de investigação-ação que nos permitiu prosseguir com a investigação. Iremos em primeiro lugar ver como o ensino-aprendizagem é um processo social colaborativo, permitindo assim uma abordagem da investigação-ação colaborativa e da sua utilização em educação. Este processo vai levar-nos a refletir sobre a relação entre a teoria e a prática em educação o que nos vai permitir a operacionalização da investigação-ação.

3.1.1 A linguagem no ensino, ou o ensino como processo colaborativo

Em sala de aula desenvolve-se uma teia de (inter)relações mais ou menos densa. Esta teia, não se dissolve após a aula: prossegue nos trabalhos que ficam por realizar, nas comunicações que se concretizam entre aulas (e.g., e-mails, tutorias,

encontros casuais na escola, nas iniciativas dirigidas a toda a comunidade académica). As relações desenvolvidas em sala de aula assentam num carácter social colaborativo que tem no ensino-aprendizagem o cimento o sustenta. Mas é noutra instância que podemos fundar o ensino como processo social colaborativo.

O ensino-aprendizagem é um processo social onde a linguagem desempenha um papel fundamental (DeVries, 2000; Howe, 1996; Lemke, 1990; W.-M. Roth, 2013; Scott, 1998; Shayer, 2003; Sutton, 1992).

De acordo com Clive Sutton (1992), a linguagem no ensino tem como função:

(...) ‘re-criar ideias’, um processo que é mais do que ‘informar’ os alunos, e que é melhor pensado como induzindo-os num certo modo de falar sobre o tópico em questão (...). Nenhuma destas respostas [sobre a função da linguagem] faz justiça às funções sociais e emocionais da linguagem, que, de facto, tomam precedência em sala de aula, mas elas começam a revelar um contraste nas crenças sobre como a linguagem funciona na relação com o conhecimento, informação e compreensão. (p. 49)

Já para Ann Howe (1996), num excerto que poderíamos reforçar com a investigação de Moll e Whitmore (1993):

A ênfase de Vygotsky esteve sempre na ideia de que o desenvolvimento vem através da interação entre crianças e adultos e entre as próprias crianças. Esta visão permeia o trabalho de Vygotsky e foi enfatizada por Davydov, um proeminente estudioso de Vygotsky (...), [segundo o qual] o ensino, *que não é mais do que uma forma de interação social, não era para Vygotsky uma atividade unidirecional mas uma verdadeira colaboração entre o professor e a criança, na qual o professor guia, direciona e encoraja a sua atividade* (p. 38) [ênfase nossa]

Philip Scott (1998), por seu lado, oferece uma perspetiva na qual “o foco não está mais em atividades instrucionais isoladas (...) mas desloca-se para olhar essas atividades [no contexto] de um fluxo discursivo, o qual vai para trás e para a frente entre o professor e os alunos” (p. 73)

Segundo Marina (1995), “a linguagem, além de permitir ao sujeito construir o Mundo” (p. 76) permite que ele tome posse de si próprio: é a própria subjetividade que emerge da linguagem, sendo que esta reestrutura todas as funções mentais, numa ideia que Marina (ibid.) foi buscar a Vygotsky. Além do mais, “a capacidade de suscitar, dirigir e controlar os acontecimentos mentais” (p. 77), a que Marina (ibid.) chama de inteligência, “surge em situação social” (p. 77). E Marina (1995) acrescenta:

Com uma sabedoria educativa prodigiosamente subtil e eficaz, que *todos deveríamos*

copiar a todos os níveis, pouco a pouco a mãe vai deixando à criança o controlo da ação. Wertsch, Minick e Arns estudaram o modo como levaram a cabo esta tarefa independentizadora mães de diferentes níveis educacionais. As que pertenciam a grupos sociais pouco escolarizados delegavam com mais dificuldade a direção da atividade. Consideravam que o importante era que o trabalho fosse feito, e não que a criança aprendesse a fazê-lo. [sublinhado nosso] (pp. 79-80)

Kubli (2005), analisando o trabalho temporalmente coincidente, mas realizado independentemente, de Vygotsky e de Michail Bakhtin, afirma que “o ensino é uma interação com a atividade mental do ouvinte, e a arena deste esforço para influenciar o estudante é o sistema partilhado da linguagem” (p. 508).

3.1.2 Fundamentação da investigação-ação colaborativa

A investigação-ação colaborativa tem uma sólida história em educação (Carr & Kemmis, 2009; Carr, 2006, 2007; Cochran-Smith & Donnell, 2006; Elliott, 1987; Fals-Borda, 2006; Groundwater-Smith, Mitchell, Mockler, Ponte, & Ronnerman, 2013; Kemmis & McTaggart, 2006, 2000; Kemmis, 2005, 2010; Koshy, 2008; McTaggart, 1996; Schratz, 1996; Wells, 2009).

Se a reputação do psicólogo social Kurt Lewin permitiu a disseminação da investigação-ação por várias disciplinas no fim da década de 1940 e início da década de 1950 do século XX, Stephen Corey (1954), pouco depois, introduziu-a em educação (Adelman, 1993; McTaggart, 1994; Somekh & Zeichner, 2009). Os esforços para justificar (incorporar) a investigação-ação no âmbito do dominante paradigma positivista, levou a um declínio temporário do seu uso nos EUA (Somekh & Zeichner, 2009).

A segunda geração de investigação-ação na década de setenta foi construída na tradição inglesa de desenvolvimento organizacional, onde se destacam os trabalhos de John Elliott (2009). O reconhecimento do carácter eminentemente “prático” da tradição inglesa (Elliott, 1987) levou à emergência da terceira geração de investigação-ação na Austrália na década de oitenta, através de uma exigência de investigação-ação de carácter mais crítico e emancipatório e onde salientamos os trabalhos de McTaggart, Kemmis e Carr (Carr & Kemmis, 1986; Kemmis, 2006; McTaggart, 1994). Podemos reconhecer, ainda, uma quarta geração de investigação-ação que emergiu, por um lado, em conexão entre a perspetiva crítica e emancipatória e, por outro lado, com a perspetiva participativa da investigação-ação desenvolvida no contexto dos movimentos sociais do Terceiro Mundo, onde se destacaram, por exemplo, Paulo Freire e Orlando Fals-Borda (Fals-Borda, 2006; Gaventa & Cornwall, 2001).

Segundo Kemmis e McTaggart (2000, p. 595), a ênfase colocada na investigação-

ação como processo colaborativo varia de autor para autor. Frequentemente, a IA é entendida como um processo solitário de autorreflexão sistemática. Esta vertente está sempre presente em qualquer processo de investigação e portanto na investigação-ação. Mas esta é melhor conceptualizada como um processo colaborativo pois é “direcionada para o estudo, reenquadramento e reconstrução de práticas” que, como vimos, são pela sua própria natureza, sociais (id., ibid.).

A investigação-ação em educação

Se, como vimos, a educação é um processo social, e a ação educativa visa a melhoria desse processo, então assumimos, ainda que implicitamente, um compromisso de carácter político sobre o que é melhor para a educação, e logo para a sociedade (Carr & Kemmis, 2009, p. 80). Wilfred Carr e Stephen Kemmis (ibid.) propõem então que a distinção entre investigação-ação pessoal, profissional e política é uma questão de ênfase.

A investigação-ação é pessoal, pois a “participação na investigação pelos que estão envolvidos na ação tem sido uma característica definidora da investigação-ação em toda a sua história”; é profissional, pois, pelo menos no caso da investigação-ação desenvolvida pelo professor-investigador, relaciona-se com a sua conduta profissional e, como vimos, também é política, pela assunção do que é uma melhor educação, uma melhor escola (id., ibid.).

A prática educativa, ainda segundo os mesmos autores, é um constructo que interconecta a unidade da vida do investigador (o aspeto moral, pessoal), a existência de instituições (o aspeto profissional), bem como o “poder orientador das tradições” (o aspeto político). Deste modo, a investigação-ação deixa de ser investigação-ação em educação quando um destes elementos está ausente.

Daqui em diante, e dados os pressupostos discutidos já discutidos, referimos IA estamos a referir-nos a IA em educação.

3.1.3 A teoria e prática na investigação-ação

Segundo Kemmis e McTaggart (2006, pp. 563 – 564), a IA envolve, a investigação de práticas concretas, materiais e não práticas abstratas, diferindo de outras formas de investigação na sua obstinação em focar-se na investigação e alteração de “práticas particulares de pessoas particulares em lugares particulares”. Deste modo caminhamos no sentido de satisfazer o critério de congruência metodológica que encontramos em Creswell (2007, p. 42): encontramos-lo satisfeito, para já, na relação entre o enunciado

do problema da presente investigação e a escolha metodológica da IA para o seu estudo.

Kemmis e Mctaggart (2006) rejeitando o dualismo teoria-ação, notam uma inferiorização da teoria e da construção teórica na literatura em IA – conforme, aliás, verificámos no início deste capítulo – defendendo que a IA necessita “tanto de mais teoria como de mais ação”

Prosseguindo na fundamentação da IA, a “*investigação sobre a prática* é ela própria uma prática” segundo Kemmis e Mctaggart (ibid., p. 572). Ora, a prática da investigação sobre a prática tem tomado, consoante as posições ontológicas e epistemológicas dos autores, formas diversas, com ênfase mais objetiva ou subjetiva, mais individual ou mais social. Dependendo do que entendem por conhecer a prática (escolha epistemológica) e o que é uma prática, “portanto, como ela própria se manifesta na realidade (escolha ontológica)” (id., ibid.), são escolhidos diferentes métodos e técnicas de investigação.

Esta é a aproximação à IA abundantemente usada na literatura, constituindo-se como uma abordagem “metodologicamente definida” (id., ibid.). No entanto, nesta abordagem

os investigadores podem obscurecer, mesmo deles próprios, as escolhas epistemológicas e ontológicas subjacentes à sua escolha dos métodos [e técnicas] (...) [logo], é arriscado prosseguir uma discussão de investigação sobre a prática principalmente *a partir* de métodos e técnicas de investigação – arriscado porque os métodos que escolhemos, podem, inadvertidamente, 'comprometer-nos com um modo particular de ver o assunto' [sublinhado no original] (id., p. 572)

Veja-se a seguinte passagem de Wittgenstein (citada em Kemmis e Mctaggart (2006, p. 572): “Como surge o problema filosófico sobre os processos e estados mentais e sobre o behaviourismo? O primeiro passo é aquele que de todo passa despercebido. Falamos de processos e estados e deixamos a sua natureza suspensa.” Este passo, o de não assumirmos, ainda que inadvertidamente nenhum compromisso ontológico, leva-nos a compromissos metodológicos que eventualmente até podem nem ser os mais adequados.

Cinco aproximações ao estudo da prática são identificadas por Kemmis e Mctaggart (2000, pp. 575–579): a) prática como comportamento individual, a ser estudada objetivamente, b) prática como comportamento de grupo, a ser estudada objetivamente, c) prática como ação individual a ser estudada de uma perspetiva subjetiva, d) prática como ação social, a ser estudada de uma perspetiva subjetiva e, e)

prática reflexiva, a ser estudada dialeticamente.

Todas estas visões da prática são suscetíveis de enquadrar investigações proveitosas em investigação em educação. A IA engloba estas cinco visões da prática e, se usa um método ou instrumento quantitativo, não é por os achar mais “rigorosos, válidos ou fidedignos” (id., ibid.), mas sim por os julgar uma aproximação ao entendimento da prática, ainda que grosseira. Inversamente, o investigador que utiliza a IA não vê que a prática possa ser apreendida apenas através de técnicas e métodos qualitativos. Pode-se revelar útil ou necessário explorar como as perspetivas dos participantes mudam e são mudadas com alteração das circunstâncias objetivas.

Assim, para Stephen Kemmis e Robin McTaggart (2006) “o que torna a IA 'investigação' não é a maquinaria de técnicas de investigação, mas antes uma preocupação permanente com as relações entre as teorias sociais e educativas e a prática.” (p.574) Adotando uma visão mais abrangente da prática, com as cinco dimensões referidas, tornamo-nos capazes de compreender e teorizar de modo mais rico.

3.1.4 Para uma operacionalização da investigação-ação

A IA foi desenvolvida em dois ciclos investigativos (Figura 6) numa escola superior de Lisboa, com a participação de duas turmas em cada ciclo de investigação (Tabela 1) e foi operacionalizada por um conjunto de oito pontos orientadores, que adaptámos de Kemmis e McTaggart (2006, pp. 563–568) para o nosso estudo:

- (a) Ciclos autorreflexivos (Figura 6). Na presente investigação tivemos dois ciclos. Estes são definidos por um conjunto de passos (reflexão/observação, planeamento, atuação, observação/reflexão, revisão do plano) que se sucedem no tempo mas em geral podem sobrepor-se alimentando o ciclo seguinte. Foi o que aconteceu na presente investigação, onde o segundo ciclo autorreflexivo incorporou conhecimentos, experiências e resultados preliminares do primeiro ciclo autorreflexivo. Os participantes mudaram, mantendo-se apenas o professor-investigador. Vários autores consideram os próprios ciclos como definidores de um processo de investigação-ação, o que não é o nosso caso.
- (b) Processo social. O trabalho investigativo inseriu-se no âmbito da investigação em educação, e como vimos, o ensino-aprendizagem é um processo social;
- (c) Participativa. O estudo teve esta vertente participativa, essencialmente por duas ordens de razões. Primeiro não foi um trabalho apenas, ou mesmo essencialmente, feito sobre outros, pois envolve-nos de modo fundamental. Em segundo lugar, pretendeu despertar nos alunos uma atitude diferente em relação

à ciência (aprendizagem, ensino e concetualização) assim como uma aprendizagem mais rica e duradoura.

- (d) Prática e colaborativa. Pretendemos envolver-nos num processo reflexivo sobre o ensino, identificando práticas a prosseguir ou a abandonar e envolvendo-nos na descoberta de outras em conjunto com os alunos e colegas.
- (e) Emancipatória. Pretendemos com o presente trabalho, libertar-nos e libertar a nossa didática de uma tradição transmissiva e a-histórica, introduzindo a HFC.
- (f) Crítica. Tivemos como objetivo reforçar os nossos argumentos para um ensino da ciência humanizado.
- (g) Reflexiva. O estudo da realidade (em mudança) pretendeu mudá-la e mudá-la para a investigar.
- (h) Objetivo de transformar tanto a teoria como a prática. Não considerámos nem a teoria nem a prática como prevalecendo uma sobre a outra, mas ambicionámos articular e desenvolver cada uma delas, raciocinando criticamente tanto sobre a teoria como sobre a prática, num processo que foi do particular à exploração de possíveis generalizações, e num outro que foi de teorizações mais globais para a exploração de potenciais práticas.

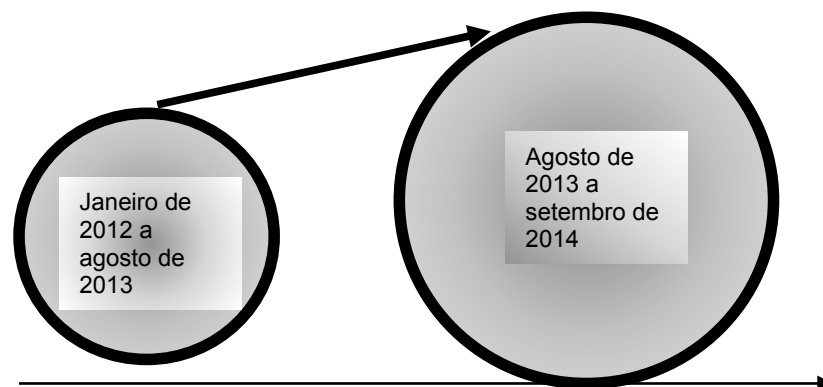


Figura 6. Ciclos de IA desenvolvidos.

Ao adotarmos uma conceção da IA onde os oito pontos apresentados entram em conjunto numa definição, não estamos a dizer, que no processo investigativo eles estiveram sempre, e de igual modo, presentes.

3.2 Desenho da Investigação

A abordagem metodológica foi delimitada pelo problema e questões de investigação enunciados no início deste capítulo. No desenvolvimento da IA utilizámos uma abordagem que integra métodos qualitativos e quantitativos, aproximando-nos, mas não fazendo uso, da conceptualização metodológica mista (Creswell & Clark, 2011;

Hesse-Bieber, 2010; Teddlie & Tashakkori, 2003).

A abordagem metodológica mista, tal como conceptualizada pela literatura (e.g., Teddlie & Tashakkori, 2003) encontra-se em plena expansão e procura fixar a sua própria terminologia e mesmo paradigma(s). Há muito que a abordagem metodológica mista deixou de poder ser definida como o projeto cujo desenho metodológico inclui pelo menos um método qualitativo e pelo menos um método quantitativo como é salientado em Creswell e Clark (2011).

Duas razões levaram-nos a não considerar a metodologia mista nas nossas opções metodológicas. Uma primeira relaciona-se com a preocupação que tivemos em promover os processos no âmbito da investigação metodológica que levassem a clarificações e a evitar o ecletismo exagerado. Uma segunda razão prende-se com a própria conceção de IA que adotámos: não é metodologicamente orientada e exige uma atenção constante à relação entre a teoria e a prática, o que nos levou a deixar em aberto a necessidade de em qualquer estágio da investigação, vermos como necessário o uso de métodos que no início não planificámos utilizar, seja pela geração de evidências que desejámos explorar, seja pelo desenvolvimento de práticas que entendemos estudar.

Em McNiff e Whitehead (2010) encontramos mesmo a defesa de que “*o próprio processo [IA] é a metodologia*, sendo frequentemente desordenado, acidental e experimental” [sublinhado nosso] (p.30), ou mesmo o apelo à inventividade metodológica, de forma a encontrarmos o nosso caminho (id.).

Na Tabela 1 apresentamos uma breve caracterização etária e de género dos alunos participantes na IA em cada um dos ciclos de investigação. Na Figura 7, indicamos os participantes e a duração da fase de intervenção nos dois ciclos de IA. As figuras Figura 8, Figura 9 e Figura 10, explicitam o desenho da investigação que é complementado com a Tabela 2, onde apresentamos os instrumentos usados na recolha de dados e quando foram usados.

O questionário (Apêndice A) teve um processo de construção e análise da validade e fiabilidade que será abordado nos § 3.3.6 e § 4.7.4. Foram elaboradas três entrevistas de grupo focal para a análise de duas dimensões (focos), a saber, o conhecimento da e sobre a natureza da ciência e a avaliação do impacto nos conhecimentos. Realizámos dois diários de bordo correspondentes aos dois ciclos investigativos, utilizámos os relatórios das aulas práticas produzidos pelos alunos, assim como observação de aulas. Por fim usámos um recurso que todos utilizam mas que raramente vemos referido, a memória (Horsdal, 2012)

A análise de dados foi essencialmente uma análise narrativa (Clandinin & Connelly, 1994; Connelly & Clandinin, 2006; Cortazzi, 1993; Polkinghorne, 1988, 1995;

Riessman, 2008).

Tabela 1
Caraterização dos alunos participantes em cada um dos ciclos de IA.

Ciclos investigativos	Turmas	Número de alunos	Média de idades	Sexo
1º Ciclo de IA				
	A1	31	23,1*	1 aluno do sexo masculino
	B1	35	21,6	F
2º Ciclo de IA				
	A2	40	22,2	1 aluno do sexo masculino
	B2	38	22,1	F

* Média de idade justificada pela existência de três *outliers* de 28, 34 e 35 anos.

Ciclo de IA Ano letivo	Participantes	Período de intervenção
1º Ciclo de IA 2012/13	Alunos das turmas A1(31) e B1 (35) e professor-investigador	11 de março a 31 maio
2º Ciclo de IA 2013/14	Alunos das turmas A2(40) e B2 (38) e professor-investigador	3 de fevereiro a 4 de abril

Figura 7. Desenho da investigação: os dois ciclos de investigação-ação, participantes e período de intervenção.

1º Ciclo de investigação-ação

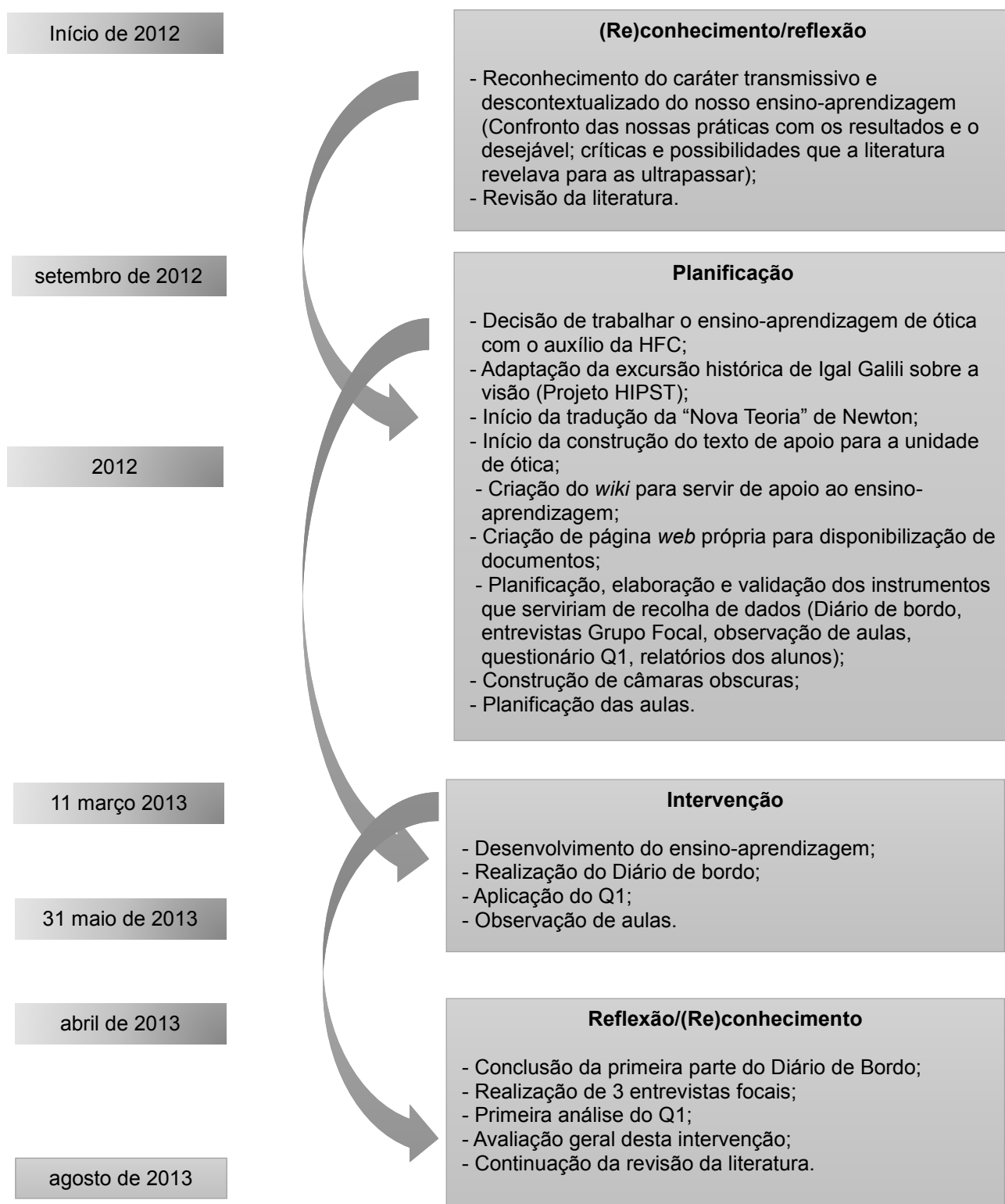


Figura 8. Desenho do primeiro ciclo de investigação-ação.

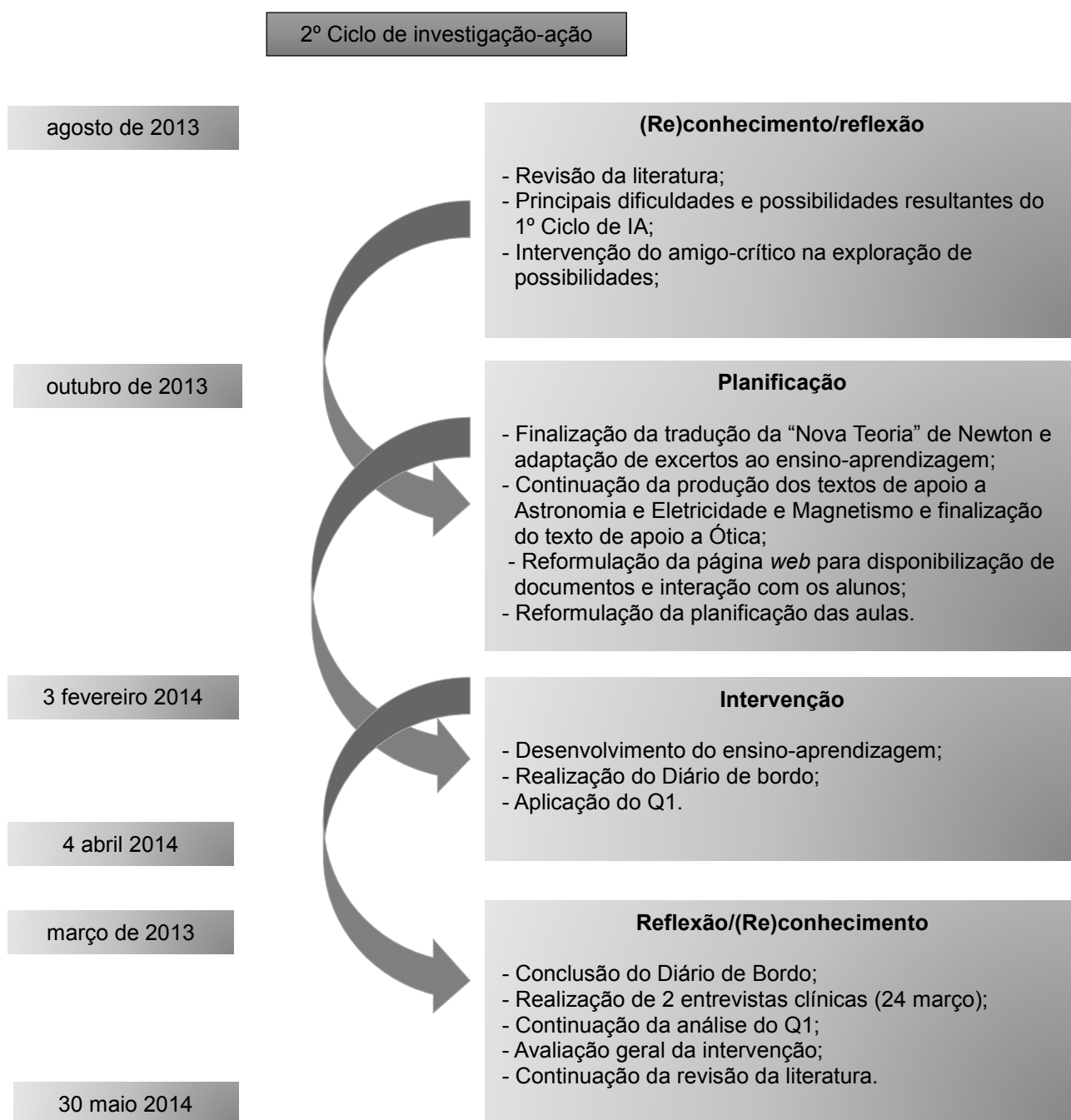


Figura 9. Desenho do 2º ciclo de investigação-ação.

Tabela 2.
Instrumentos usados na recolha de dados.

Instrumento	Aplicação	Fontes bibliográficas
Questionário Q1	Aplicado na primeira aula de cada ciclo de IA.	(Oppenheim, 1992; Tuckman, 1999)
Entrevista Grupo Focal	3 Entrevistas. Desenvolvidas no 1º ciclo investigativo	(Gaskell, 2005; Krueger & Casey, 2009; Morgan, 1993, 1996)
Entrevista clínica	2 Entrevistas. Desenvolvidas no 2º ciclo investigativo	(Posner & Gertzog, 1982)
Diário de Bordo	Dois, um em cada ciclo	(Clandinin & Connelly, 2000; Galvão, 2005)
Observação de aulas	Desenvolvidas em parte de aulas práticas	(Angrosino & de Pérez, 2000; Wragg, 1997)
Relatórios produzidos pelos alunos	Relatórios resultantes das aulas práticas	(Bogdan & Bilken, 1992; Loizos, 2005)
Memória	Um recurso sempre usado.	(Horsdal, 2012)

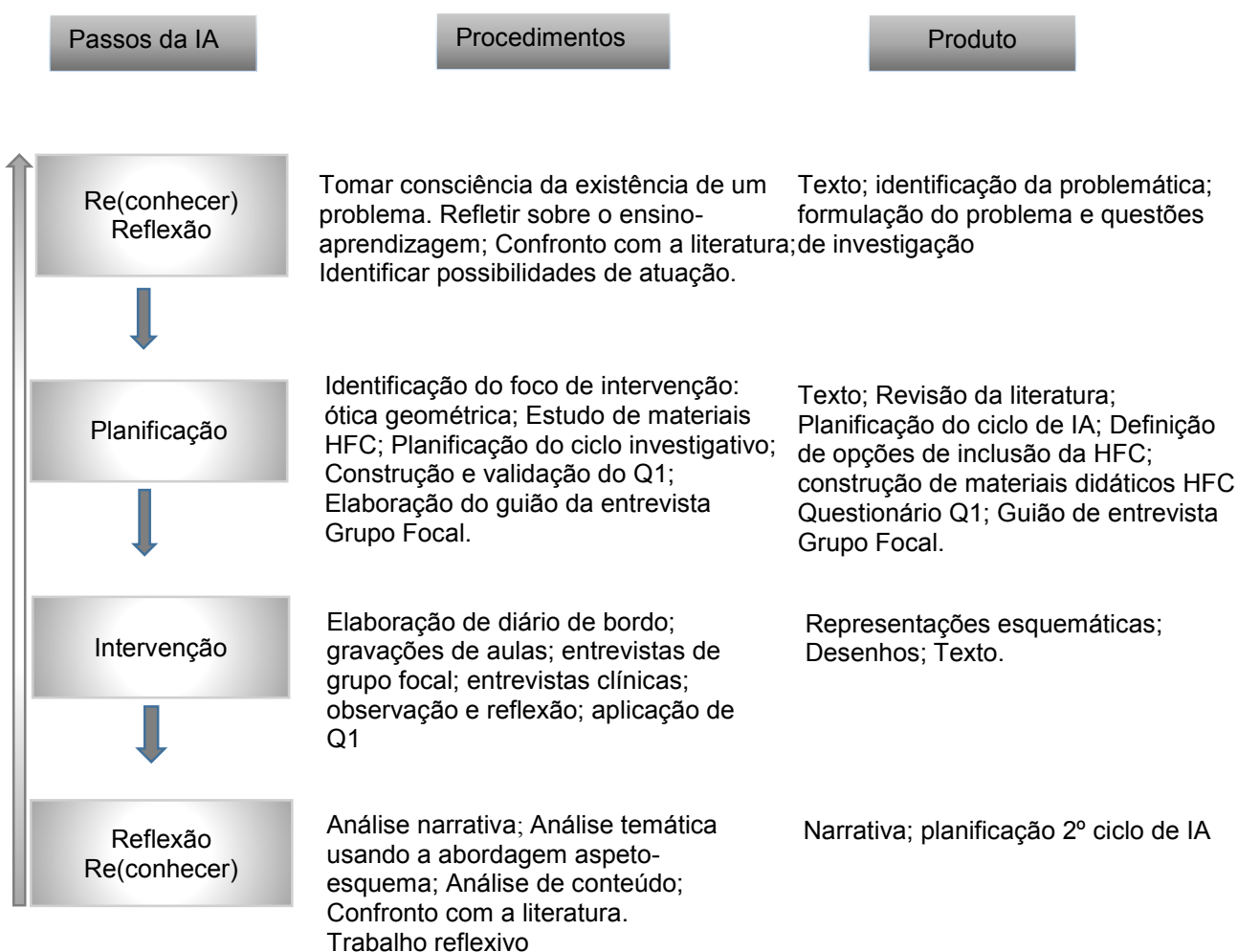


Figura 10. Desenho da investigação

3.2.1 Apontamento sobre a análise narrativa em educação e a sua apropriação pelo nosso estudo

Na Figura 10, onde explicitamos o desenho da investigação, referimos o uso da análise narrativa e da narrativa na investigação-ação. Para que possamos clarificar o que neste trabalho concreto entendemos por narrativa e análise narrativa dentro da já vasta produção científica sobre o assunto, vamos em primeiro lugar identificar alguns pontos que emergem da literatura e que para nós se revelaram como essenciais na compreensão e implementação da análise narrativa neste trabalho, após o que faremos uma ligação entre a análise narrativa e a investigação-ação.

Martin Cortazzi (1993), no seu livro *Narrative Analysis* argumenta que o uso de narrativas dos professores - “estórias dos professores sobre as suas próprias experiências” (p. 5) – tem sido visto como central no estudo do pensamento dos professores, sua cultura e comportamento. Todo o seu trabalho é fundado no uso da narrativa para melhor conhecer os professores (seus pensamentos e atividades na sua multidimensionalidade), bem como o ensino (sistemas educacionais, reformas curriculares e prática em sala de aula).

Também Michael Connelly e Jean Clandinin (1999) fazem um extenso uso das narrativas para o estudo da identidade dos professores e da sua satisfação/insatisfação com o seu trabalho. “Estes assuntos”, adiantam os autores, “estão no centro (...) da teoria, política e prática da mudança e melhoria da escola” (id., p. 100). De acordo com Connelly et al. (1999) a mudança da escola é interpretada de acordo com a criação de novas estórias através das quais a escola passa a viver, ou pela sustentação de estórias pelas quais a escola já vive; em particular, a identidade do professor é relacionada com a muito referida resistência à mudança, sendo aquela identificada com a permanência ou introdução de novas estórias pelas quais os professores vivem.

Esta ideia de estórias constitutivas da identidade dos professores (ou das escolas) presente em Connelly et al. (ibid.) é também encontrada em Catherine Riessman (2008). Como afirma:

Enquanto as estórias pessoais prevalecem certamente na vida contemporânea, refletindo e produzindo o culto do “eu” como um projeto na modernidade, a narrativa tem uma vida robusta além do indivíduo. Assim como as pessoas constroem estórias da experiência [vivida], também (...) comunidades, nações, governos e organizações constroem narrativas preferidas sobre elas próprias. (p. 7)

Riessman (ibid.) – que usa os termos estória e narrativa de modo indistinto tal como o faz, por exemplo, Donald Polkinghorne (1988, 1995), coloca mesmo a hipótese do grande desenvolvimento que as narrativas conhecem nas ciências sociais, ter origem

em “preocupações contemporâneas com a identidade.” (ibid.) De facto, como afirma, as identidades podem ser “construídas e desconstruídas, aceites ou contestadas e mesmo representadas para audiências” (id., ibid.), desempenhando a narrativa o processo pelo qual os indivíduos (ou grupos ou organizações) constroem e reconstroem a sua identidade.

Entretanto vários autores colocam a ênfase dos seus trabalhos na relação entre a narrativa e a investigação-ação (Brown & Jones, 2001; Elliott, 2007; McNiff & Whitehead, 2002; McNiff, 2007; Pushor & Clandinin, 2009) enquanto, por exemplo, Elliot Mishler (1986) estuda a narrativa e a investigação narrativa no contexto da entrevista como metodologia em ciências sociais e Nancy Zeller (1995) e Robert Yin (2014) referem o uso da narrativa em estudos de caso. Ou seja, vemos a narrativa em interação com métodos ou estratégias de investigação (entrevistas), ou metodologias de investigação em educação (investigação-ação e estudos de caso), pelo que a narrativa entrou já num diálogo profícuo com outras tradições investigativas em educação constituindo-se assim como uma abordagem de que nos apropriámos.

Orientados pelo trabalho de Dewey sobre a experiência, Clandinin e Connelly (1994, 2000, pp. 48–52) conceptualizam a investigação narrativa num quadro tridimensional de interação, continuidade e situação. A interação, um primeiro eixo do espaço da investigação narrativa, tem em simultâneo a dimensão pessoal e social; a continuidade, o segundo eixo, comporta as dimensões passado, presente e futuro; a situação, o terceiro eixo da investigação narrativa, comporta o local, a cena. Ora esta conceptualização permitiu o desenvolvimento da investigação narrativa em quatro direcções: para o interior (e.g., sentimentos, esperanças) e para o exterior (condições de existência, cena) no eixo da interação; para trás e para a frente no tempo trabalhando no eixo continuidade. A cena, o local passou a autonomizar-se mais tarde no trabalho dos autores.

Donald Polkinghorne (1988, 1995) aborda a narrativa sob outro olhar, o que nos permitiu formar um quadro mais rico onde desenvolvemos a investigação. De acordo com Polkinghorne (1988, p. 135), a “narrativa é a estrutura discursiva na qual a ação humana recebe a sua forma e através da qual adquire significado”, enquanto a análise narrativa é o “processo através do qual o investigador organiza os dados num relato coerente” (*organizes the data elements into a coherent development account*) (Polkinghorne, 1995, p. 15). Polkinghorne (1995) distingue dois tipos de investigação narrativa, a saber: a análise de narrativas (com a preposição de), em que os trabalhos têm como dados as próprias narrativas e a análise narrativa (sem preposição de). Um bom exemplo do primeiro tipo de investigação são os trabalhos de Connelly e Clandinin (1999) sobre as narrativas dos professores na primeira parte do livro destes autores; já

a análise narrativa pode encontrar um exemplo no trabalho de Jean McNiff (2007). De acordo com Polkinghorne (1995):

A análise narrativa relaciona acontecimentos e ações uns com os outros configurando-os como cooperantes para o desenrolar do enredo. A história constituída pela integração narrativa permite a incorporação das noções de propósito e escolha humanas bem como de acontecimentos casuais, temperamentos e pressões envolventes. *O resultado da análise narrativa é uma explicação que é retrospectiva, ligando acontecimentos passados de modo a explicar como um resultado final poderá ter emergido.* (p. 16) (ênfase nossa)

Esta explicação de índole retrospectiva que organiza e dá sentido aos acontecimentos “envolve um movimento recursivo dos dados para um enredo temático emergente” (id., ibid.). À medida que este enredo é construído, os acontecimentos cruciais para o desfecho da história tornam-se evidentes: é este enredo em construção que informa o investigador sobre que dados são relevantes, do conjunto de todos os dados, para constarem da narrativa final. Em particular, adianta Polkinghorne (1995) “elementos que não contradizem o enredo mas que não são pertinentes para o seu desenvolvimento” (p. 16), não tomam lugar na narrativa, num processo que é conhecido por suavização da narrativa (*narrative smoothing*). Como afirma o autor, a experiência humana não combina com uma história “cuidadosamente construída” e “congruente”, constituindo-se antes através de acontecimentos estranhos ou inabituais e de tarefas diárias assim como de múltiplos projetos individuais e coletivos (Polkinghorne, 1995, p. 16). Deste modo, “o próprio ato de trazer esses acontecimentos à linguagem impõe um nível mais elevado de ordem [sobre os acontecimentos] do que eles têm no fluxo da experiência diária.” (id., ibid.). Enquanto o “movimento para a configuração narrativa” leva a um nível superior de organização das experiências vividas, a história final deve ser consistente com os dados ao mesmo tempo que lhes dá um significado que os dados, por si só não, possuem. Polkinghorne (1988) fundamenta extensamente esta sua abordagem à investigação narrativa, na qual, “o produto estorizado é uma *gestalt* temporal no qual o significado de cada parte é dado através das suas relações recíprocas com todo o enredo e as outras partes.” (p. 18)

Já Riessman (2008) aponta a análise narrativa como referindo uma família de métodos para a interpretação de textos que têm em comum a forma história, parecendo apontar para o que Polkinghorne (1995) defende como um tipo de análise narrativa, a saber, a análise de narrativas (com a preposição “de”). Apesar de nos situarmos na análise narrativa (sem a preposição “de”) o trabalho de Catherine Riessman (2008) aponta importantes direções para a configuração de uma análise narrativa.

Segundo a autora, a investigação narrativa está fundada no particular, estudando o desenvolvimento de atores específicos em lugares e tempos específicos. Esta atenção ao caso, ao concreto, é muito valorizada na análise de Riessman (2008) à investigação narrativa. Por seu lado o investigador narrativo “interroga intenções e linguagem – como e porquê os incidentes são estoricizados e não simplesmente o conteúdo ao qual a linguagem refere” (Riessman, 2008, p. 11). Em vários autores, já havíamos deparado com esta atenção, e consequente relevância do processo de construção da própria narrativa (Clandinin & Connelly, 2000; Connelly & Clandinin, 1999; Polkinghorne, 1988), mas com Riessman (2008) o particular, o caso, tem um papel fundamental.

3.2.2 A investigação-ação e a narrativa no presente trabalho

No nosso trabalho usámos a investigação-ação em educação como quadro metodológico para o desenvolvimento do projeto de investigação. Não pretendemos avançar muito nas (possíveis) interações existentes entre a investigação-ação em educação e a investigação narrativa. No entanto, e uma vez que alguns autores (McNiff, 2007; Pushor & Clandinin, 2009) mencionam explicitamente uma estreita relação, pensamos que para a compreensão da integridade do nosso projeto, uma breve referência a estas questões se torna inevitável.

Wilfred Carr e Stephen Kemmis (1986), cujos trabalhos enformam a nossa conceptualização de IA, são claros ao afirmar que “o problema epistemológico essencial a ser considerado na relação com o ciclo espiral autorreflexivo da IA é o problema de relacionar compreensão *retrospectiva* com ação *prospetiva*.” (id., pp. 185,186). Esta identificação do problema epistémico inerente à investigação-ação está também presente em Jean Clandinin e Jerry Rosiek (2007) quando trabalham a ontologia da experiência em Dewey.

Notemos que para Dewey, segundo estes investigadores, uma “ontologia pragmática da experiência enfatiza a continuidade” (id., p. 40) sendo que esta, não é “meramente percetual” (id., p. 40) mas ontológica. “Esta continuidade”, afirmam Clandinin e Rosiek (2007), “tem importantes implicações para o modo como pensamos a investigação, narrativa ou outra” (p. 41) pois “reforça a ideia de que a investigação não é uma ‘procura atrás do véu’ das aparências, que acaba na identificação de uma realidade transcendente imutável.” (p. 41) Em seu lugar, a investigação, continuam os autores, “é um ato dentro de um fluxo da experiência que gera novas relações que então se tornam parte da experiência futura” (Clandinin & Rosiek, 2007, pp. 40–41).

Esta realidade fluida e dialética aponta para a necessidade de uma epistemologia que a capture na sua dinâmica. Carr e Kemmis (1986) parecem captar bem esta necessidade:

Ao nível particular da espiral autorreflexiva de um projeto de investigação-ação particular, *a tensão entre a compreensão retrospectiva e a ação prospetiva* é realizada em cada um dos quatro ‘momentos’ do processo de investigação-ação, cada um dos quais ‘olha para trás’ para o momento prévio que o justifica, e ‘olha para a frente’ para o momento seguinte que o realiza. (p. 186)

Assim, para Carr e Kemmis (1986), o momento planeamento da IA é prospetivo para a ação e retrospectivo para a reflexão. A ação é essencialmente incerta, arriscada, mas é “retrospectivamente guiada pela reflexão passada”, base sobre a qual foi realizada a nossa planificação (Apêndice B) e “guiada prospectivamente em direção à observação e reflexão futura, a qual avaliará os problemas e efeitos da ação.” (p. 186)

3.2.3 A análise aspeto-esquema

Na análise dos dados resultantes da aplicação do questionário Q1 (Apêndice A) relativos às concepções dos alunos sobre a luz e a visão (exceto relativamente à cor), usámos a abordagem “aspeto-esquema” desenvolvida por Igal Galili e colegas (Galili & Hazan, 2000; Galili & Lavrik, 1998) (Figura 11). Cada aspeto do conhecimento (*facet of knowledge*)²⁷ é uma concepção do aluno, expressa em geral por uma frase ou procedimento. Essas concepções, atomizadas, são observadas com frequência em sala de aula. Cada aspeto do conhecimento do aluno toma então a figura de uma frase que é uma ligeira abstração do que os alunos afirmam.

²⁷ Esta abordagem ao conhecimento do aluno, desenvolvida por Jim Minstrell (1992, 1996, 1998) e associada à conceptualização da Mudança Concetual de Adrea diSessa (2008), enfatiza o conhecimento prévio do aluno como um conhecimento produtivo. Minstrell (1998) refere que usou o termo *facet*, que traduzimos por aspeto, “para evitar a ‘bagagem’ associada a conceitos como concepções erradas ou concepções alternativas. De facto, muito do conhecimento do aluno é [conhecimento] útil” (p. 4) e sobre ele pode ser construído conhecimento cientificamente aceite.

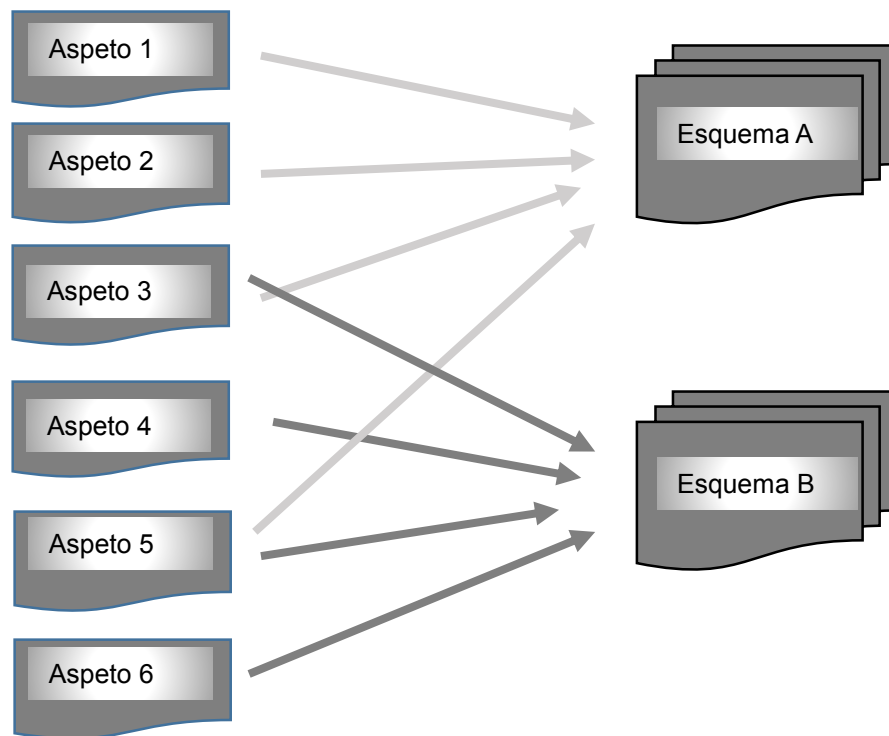


Figura 11. Aspeto-esquema. Um “esquema” do conhecimento é resultado de um conjunto de “aspetos” do conhecimento.

Por exemplo, o aspeto “a luz preenche o espaço e permanece estacionária (assim, o céu é brilhante)” é uma concepção que muitos alunos possuem e pertence ao tipo de conhecimento declarativo, mas o aspeto “quando é indicada luz a ser emitida de uma fonte de luz, são representadas linhas retas que saem radialmente da fonte. Cada raio sai de um ponto da fonte”, é um aspeto do conhecimento que pertence ao tipo de conhecimento processual.

Muitos alunos realizam aquelas afirmações ou fazem esquemas onde o último aspeto do conhecimento (raios de luz a sair de uma fonte) é identificado. Por sua vez, o aspeto do conhecimento da luz estacionária está muito afastado do conhecimento cientificamente aceite, mas há outros aspetos do conhecimento que estão mais próximos. Assim, aspetos do conhecimento são concepções dos alunos mais ou menos próximas do conhecimento científico. Vários aspetos podem ser aglomerados para formar um grau superior de generalização, não tão dependente da situação a que Galili denominou de “esquemas do conhecimento”. Assim, no domínio da ótica, e após uma revisão da literatura, Galili e colegas identificaram oito esquemas.

A – Esquema da visão espontânea (ver acontece naturalmente como resultado da presença do olho.)

B – Esquema corpóreo da luz (luz é reificada.)

C – Esquema da luz-lanterna (raios individuais são emitidos de cada ponto da fonte de luz.)

D – Esquema holístico da imagem (uma imagem é uma réplica corpórea de um objeto. Pode-se mover, manter-se no mesmo lugar ou rodar.)

E – Esquema da Imagem projetada (cada ponto-imagem está relacionada com o seu correspondente ponto-objeto por um único raio de luz.)

F – Esquema Sombra como imagem (A sombra é uma espécie de imagem separada do objeto.)

G – Esquema Sombra e envolvimento (A sombra depende do ambiente envolvente.)

H – Esquema Cor-pigmento (A luz tem pouca ou nenhuma relação com a cor.)

Nesta investigação, o conhecimento dos alunos acerca da cor foi analisada utilizando uma análise de conteúdo (Bardin, 2007), pelo que não fizemos uso do esquema H. Esta opção prende-se com uma maior riqueza de resultados que uma análise de conteúdo permitiu, face aos dados obtidos. Por outro lado, o questionário Q1 não recolhe, por opção nossa que fundamentaremos, aspetos do conhecimento pertencentes ao esquema E e G. Optámos no entanto por listar todos os esquemas identificados por Igal Galili (Anexo A), e dentro de cada esquema todos os aspetos, mesmo quando o questionário Q1 não procurou a sua identificação, de modo a que esta abordagem ficasse clarificada.

3.2.4 Elaboração e Validação do Questionário Q1

O questionário Q1 (Apêndice A) foi elaborado com o objetivo de realizar o levantamento das concepções dos alunos no domínio disciplinar da ótica. A elaboração do questionário teve duas orientações fundamentais. Por um lado, dentro do domínio da ótica procurámos averiguar o conhecimento dos alunos em áreas que são objeto de ensino-aprendizagem na unidade curricular em que desenvolvemos a investigação-ação e por outro, privilegiámos as perguntas abertas. Esta última opção resultou de possíveis ganhos na obtenção de representações sob a forma de esquemas ou modelos: as representações esquemáticas e os modelos têm no ensino-aprendizagem tradicional da ótica geométrica uma influência que a literatura aconselha a não desvalorizar (Colin & Viennot, 2001; Viennot & Kaminski, 2006).

Optámos de igual modo por não incluir no questionário questões que, de modo explícito, procurassem obter concepções sobre formação de imagens com instrumentos óticos como lentes ou espelhos. Ainda que este tópico seja objeto de ensino-aprendizagem, o número de horas de contato com os alunos tem diminuído de ano para

ano, tendo os docentes realizado opções didáticas que diminuiram o tempo de trabalho no âmbito da formação de imagens com lentes e espelhos.

A questão de validação do instrumento Q1 foi resolvida pelo uso sistemático na literatura relevante sobre o assunto das questões do questionário. No entanto, e porque algumas questões (questões, 10, 11, 12 e 13 a) e 13 b)) foram muito modificadas, usámos também a validação por peritos. Esta última foi particularmente relevante nas questões 13a) e 13b) que reportam à cor. A fiabilidade do questionário Q1, composto de catorze questões, será discutida quando realizarmos a análise dos dados.

Tabela 3
Questionário Q1: fontes bibliográficas para as questões

#Questões	Fonte	Outras contribuições para a questão	Outros questionários com influência
1	Andersson e Kärqvist (1983)		Langley, Ronen, e
2	Andersson e Bach (2005)		Eylon (1997)
3	Andersson e Bach (2005)		Fetherstonhaugh,
4	Galili e Hazan (2000)		Happs e Treagust
5	La Rosa, Mayer, Patrizi e		(1987)
	Vicentini-Missoni (1984)		Keleş e Demirel
6	Galili e Hazan (2000)		(2010)
7	Andersson e Bach (2005)		Heywood (2005)
8	Galili & Lavrik, 1998	Feigenberg, Lavrik e	
		Shunyakov (2002)	
9	Galili & Lavrik, 1998		
10	Feigenberg, Lavrik e	Galili e Lavrik (1998)	
	Shunyakov (2002)		
11	Feigenberg, Lavrik e	Galili e Lavrik (1998)	
	Shunyakov (2002)		
12	Feigenberg, Lavrik e		
	Shunyakov (2002)		
13 a)	Viennot e Hosson (2012)	Olivieri, Torosantucci e	
		Vicentini (1988);	
		Chauvet (1996)	
13 b)	Viennot e Hosson (2012)	Chauvet (1996)	

3.3 Questões em torno da validade

Joseph Maxwell (1992) considera “cinco grandes categorias de compreensão, relevantes para o investigador qualitativo” às quais correspondem cinco tipos de validade que a implicam: validade descritiva, validade interpretativa, validade teórica, generalização e validade avaliativa.

A validade descritiva está associada a uma categoria de compreensão imediata

(validade descritiva primária), ou a uma categoria de compreensão que resulta de inferência sobre os dados (validade descritiva secundária).

A uma outra categoria de compreensão, que está relacionada com os significados que os participantes na investigação-ação (ou na investigação qualitativa em geral) dão aos textos, acontecimentos ou comportamentos, por exemplo, Maxwell (1992) associa uma validade interpretativa²⁸.

Uma terceira categoria de compreensão, compreensão teórica, nas palavras de Maxwell (1992) distingue-se tanto da compreensão descritiva como da interpretativa pelo nível de abstração mas também porque engloba uma função explicativa, ausente das anteriores categorias. A esta categoria de compreensão está associada uma validade teórica. No entanto, como afirma Maxwell (1992), a “distinção entre validade descritiva ou interpretativa e teórica não é um absoluto” (p. 292). Estes três tipos de validade são os mais diretamente envolvidos na avaliação de uma investigação qualitativa (Maxwell, 1992).

A fiabilidade de uma investigação, de acordo com o autor, refere a um tipo particular de ameaça à validade, não sendo uma questão separável desta: “Se diferentes observadores ou métodos produzem diferentes dados ou relatos (nível descritivo) dos mesmos acontecimentos ou situações, isto põe em questão a validade descritiva (e outros tipos de validade também) dos relatos.” (id., p. 288) Adotando esta abordagem fortemente ancorada na literatura e em posições epistémicas e ontológicas típicas da nossa investigação, vamos ver como abordámos estes vários tipos de validade na presente investigação.

A validade descritiva e interpretativa resultam de dois fatores essenciais: do entendimento que fizemos da investigação-ação como resultando de um empenho em modificar tanto a teoria como a prática – o que implica a preocupação da nossa descrição (nível descritivo) e significado atribuído à descrição (nível interpretativo) desenvolverem uma crescente aderência à prática em mudança e à teoria que enforma essa prática. Desta preocupação desenvolvemos os processos de validação dos instrumentos de recolha de dados. O questionário Q1 foi validado pelo uso na literatura e por pares; o guião das entrevistas focais foi validado pela leitura crítica de uma aluna não participante; as entrevistas clínicas foram validadas pelo seu uso na literatura. A transcrição das entrevistas foi realizada com uma preocupação tanto ao nível da validade descritiva como interpretativa. A presença quase permanente ao longo da investigação de um amigo crítico (Norris, 1997), atuou, essencialmente, ao nível da

²⁸ Para questões associadas aos diferentes significados atribuídos a “interpretativo” na literatura e a confusões que emergem daí ver nota p. 288 em Maxwell (1992)

validade interpretativa. Por fim, a validade teórica, foi acautelada pelo recurso sistemático ao confronto com a literatura relevante, por um lado, mas também porque a nossa investigação-ação colocou a prática e a teoria numa relação intrincada entre iguais (Kemmis & McTaggart, 2000, 2006)²⁹.

Maxwell (1992) apresenta outros dois constructos, a “generabilidade” que Merriam (1995) denomina de validade externa, e a validade avaliativa que, no dizer do próprio autor, não são de tão grande importância para o investigador qualitativo como os anteriores. De qualquer modo podemos fundar a generabilidade do nosso trabalho nos universais concretos (*concrete universals*) de Erickson (1984) onde o uso da HFC nesta investigação é mais um grão no universo do estudo do ensino-aprendizagem com HFC.

Outra abordagem à validade externa apoia-se na generabilidade do leitor (Merriam, 1995), onde este encontrará no caminho que trilhámos nesta investigação possibilidades para o seu próprio caminho; possibilidades do processo ser seguido em outra escola com outros alunos e professores e promover um conjunto de transformação, certamente diferentes das nossas mas que se dirigem ao nosso objetivo central, um ensino humanizado.

A acrescentar a estes procedimentos de validação foram desenvolvidas a triangulação de dados e a triangulação metodológica (Denzin & Lincoln, 1998)³⁰ (Tabela 4), uma descrição espessa e comparação modal (Merriam, 1995, p. 58,59), em particular a verificação de como os nossos resultados comparam com outros.

²⁹ Alguns argumentos e posições colocam a validação como um processo mecânico realizado por um conjunto de passos que levariam à legitimação do conhecimento que o instrumento “validado” permitiria inferir. Como uma posição de aviso contra os perigos de uma *legitimation mania* o texto de Kvale e Brinkmann (2009, p. 260) parece-nos particularmente valioso.

³⁰ A triangulação em investigação qualitativa não é, segundo Denzin e Lincoln (1998) “uma ferramenta ou estratégia de validação, mas uma alternativa à validação. A combinação de múltiplos métodos, materiais empíricos, perspectivas e observadores num único estudo é melhor entendido (...) como uma estratégia que acrescenta rigor, amplitude e profundidade a qualquer investigação.”(p. 4) Ver também Flick (1992).

Tabela 4.
Uso de triangulação no processo de validação.

Instrumentos	Triangulação de dados	Triangulação metodológica intramétodos
Entrevista Grupo focal 1	✓	
Entrevista Grupo focal 2	✓	
Entrevista Grupo focal 3	✓	
Entrevista clínica 1	✓	
Entrevista clínica 2	✓	
Diário de bordo (1º Ciclo)	✓	
Diário de bordo (2º Ciclo)	✓	
Questionário Q1 (1º Ciclo)		✓
Questionário Q1 (2º Ciclo)		✓
Gravações de aulas		

3.4 Questões éticas

Os problemas éticos associados à nossa investigação foram abordados na perspectiva de que formamos educadores e professores tentando concretizar (tornar concreto, real), nas palavras de Veiga (2003) o nosso:

Dever de imaginar e explorar novas possibilidades de formação dos futuros professores, concretizando projetos que possam vir a reconstruir os valores da solidariedade, da liberdade, da responsabilidade e da dignidade humana, num estilo 'inquietante' e não 'reconfortante' de emergência de um conhecimento emancipatório. (p. 15)

O comprometimento com estes valores e objetivos levam-nos a considerar as questões éticas não como estando colocadas e resolvidas numa única etapa do nosso trabalho, mas como presentes de modo permanente: a atenção que atribuímos à relação

entre a teoria e a prática teve influência determinante nas nossas considerações sobre a ética nesta investigação em concreto.

Jean McNiff e Jack Whitehead (2010, pp. 73–77) e Jane Zeni (2009) tratam especificamente de questões éticas associadas à investigação-ação. A questão fundamental que colocam logo de início é que aqueles que fazem investigação-ação em educação são de igual modo participantes, investidos no duplo papel de investigadores e professores. McNiff e Whitehead (2010) examinam esta questão da influência e salientam que o processo educativo “refere-se àqueles processos que ajudam os outros e nós próprios a desenvolver” (p. 74) a capacidade de nos tornarmos críticos através de uma “crítica dialética e reflexiva” (ibid.) numa abordagem em que parece ecoar o “estilo 'inquietante' e não 'reconfortante' de emergência de um conhecimento emancipatório” que Veiga (2003) refere.

A ideia de influência em educação, neste quadro, não é, de todo, negativa. “Este processo é sempre transparente, pois de modo a encorajar outros a serem críticos temos de mostrar a nossa própria capacidade de reflexão crítica no nosso próprio pensamento.” (pp. 74,75) Também a questão da participação do próprio investigador na investigação-ação levou Zeni (2009) a colocar a ênfase no papel dual do investigador (que também é professor). Para esta autora, este duplo papel não cria necessariamente uma ameaça ética, pois “os laços de cuidado (*caring*), responsabilidade e compromisso social que comprometem” os investigadores que realizam investigação-ação, constituirá a base mais apropriada para um processo de decisão ético (Zeni, 2009, p. 257). E são precisamente sobre os padrões éticos de responsabilidade, ação e justiça social e de cuidado (*caring*) e respeito que fundamos a nossa investigação (Zeni, 2009). Responsabilidade para com os alunos, colegas, administração escolar e sociedade; ação em direção à transformação crítica e reflexiva do ensino-aprendizagem fomentando uma posição crítica e reflexiva nos alunos; cuidado (*caring*) e respeito que advêm da promoção de relações desenvolvidas pelo processo de investigação-ação em educação de benefício para todos os participantes.

Para além do que foi dito, questões de confidencialidade e negociação com todos os participantes, assim como o direito a deixarem de participar em qualquer momento foram atentamente considerados.

Capítulo 4

Resultados

A apresentação de resultados será acompanhada de interpretação e discussão dos mesmos, ainda que no capítulo seguinte procuremos fazer uma sistematização de aspetos essenciais. Podemos dividir os resultados em três domínios: a) a reconfiguração dos nossos compromissos ontológicos e epistémicos enquanto professor-investigador, b) o processo de escolha de como usar HFC no ensino-aprendizagem e a opção pelo uso instrumental da HFC para a construção das duas sequências de ensino-aprendizagem correspondentes aos dois ciclos investigativos, e c) a análise dos conhecimentos dos alunos e sua evolução com a instrução.

Dentro de cada um destes domínios, os resultados apresentam várias componentes de análise. A segunda questão de investigação, i.e., “quais os processos utilizados na transformação das práticas de ensino em direção a um ensino das ciências com HFC?” levou-nos a explorar os vários caminhos que tentámos seguir. Nomeadamente porque inicialmente procurámos desenvolver o uso de narrativas históricas, as razões por que abandonámos esse caminho e porque optámos pelo uso instrumental da HFC através da sua utilização no desenho de sequências de ensino-aprendizagem.

A elaboração das sequências de ensino-aprendizagem levou-nos a considerar como o conhecimento dos alunos, futuros educadores e professores do 1º e 2º CEB, conceptualizam o conhecimento ótico na linguagem do dia-a-dia, pelo que realizámos uma revisão da literatura sobre concepções alternativas tão abrangente quanto julgámos necessário.

A descrição do primeiro e do segundo ciclos investigativos, seus sucessos, deficiências e como o segundo ciclo foi influenciado pela reflexão realizada sobre o primeiro, é também alvo de exposição e análise neste capítulo. Procurámos, na descrição realizada, dar uma ideia tão completa quanto possível do trabalho realizado de elaboração de materiais didáticos de vários tipos (textos de apoio, figuras, partes de traduções adequadas ao apoio às aulas) e formatos (papel, *wiki*, página *web*). Estes materiais didáticos, são parte constitutiva dos resultados e fruto de um trabalho mais vasto de leitura e trabalho sobre fontes históricas originais e secundárias.

Uma análise “aspeto-esquema” apresentada no capítulo da metodologia desta tese foi desenvolvida em torno das respostas dos alunos ao questionário Q1 no que respeita a todos os aspetos do conhecimento ótico que o questionário pretendia averiguar, com exceção da cor, que é trabalhada por análise de conteúdo. Os resultados do tratamento qualitativo dos dados e sua transformação quantitativa permite uma breve abordagem à eficácia da instrução nos conhecimentos dos alunos, respondendo assim

à terceira questão de investigação, i. e., “Qual o impacte das alterações das práticas de ensino em direção a um ensino das ciências com HFC nos conhecimentos conceituais, processuais e de contexto dos alunos?

Por fim, procurámos analisar como o *inquiry*, a Natureza da Ciência (NC) e as problemáticas sócio-científicas foram trabalhados, ou, de outro modo, até que ponto conseguimos desenvolver um ensino-aprendizagem que integrasse estes elementos que considerámos integrantes de um ensino humanizado. O carácter colaborativo desta IA e a ligação à transformação dos compromissos epistémicos e ontológicos enquanto professor-investigador são então objeto de um primeiro tratamento procurando dar resposta à primeira questão de investigação, i.e.,” De que modo a HFC modificou a nossa posição teórica relativa ao ensino-aprendizagem e compromissos ontológicos e epistemológicos enquanto professor-investigador?”

4.1 Vontade, Possibilidade e Necessidade: a Conjugação de Três Momentos Para Transformar o Ensino-aprendizagem

A literatura em educação identifica várias possibilidades de uso da HFC na educação em ciência. Filomena Amador (2010, pp. 11–12), por exemplo, num processo de sistematização, refere aquilo que denomina de “quatro possíveis vias de utilização de HC em processos de desenho curricular”. Em particular refere o “nível mais direto da prática docente” onde caberia:

- i) Construir materiais e estratégias didáticas, suportados no conhecimento da evolução sincrónica e diacrónica de teorias e da influência que nesta evolução podem desempenhar os fatores sociais (...)
- ii) Organizar e desenhar currículos científicos. (...)
- iii) Ajudar a identificar conceções alternativas, presentes nos alunos, que podem ser pontos de ancoragem para novas aprendizagens ou obstáculos à aprendizagem. (p. 11)

No entanto, segundo Amador (ibid.), este nível depende, ou está fundado em uma outra possível via de utilização de HFC no ensino, a saber, o nível da fundamentação epistemológica:

- i) Identificar as principais operações mentais necessárias para a construção do conhecimento em determinadas domínios, isto é, o tipo de explicações científicas usadas, a sua caracterização e exemplificação. ii) Reconhecer e interpretar processos de evolução teórica no decurso da história, tipificando e exemplificando diversas situações. iii) *Permitir contextualizar a produção do conhecimento científico e deste modo não só humanizá-lo, como também chamar a atenção para os inúmeros aspetos socioeconómicos, políticos, religiosos, etc., que influenciam a prática científica.* iv)

Diferenciar explicações científicas (ciência) de explicações não científicas (pseudociência). (Sublinhado nosso) (p. 11)

Surge aqui a ideia de humanização do conhecimento científico como resultado de uma contextualização da sua produção. Foi no entanto no trabalho de Wang e Marsh (2002), com o qual contactámos no início do curso de formação avançada integrante do presente trabalho, que encontramos a fonte para o nosso trabalho investigativo: “O que significa humanizar a ciência? Este estudo reflete a visão que humanizar não é ‘torná-la engraçada’ mas antes fazê-la [mostrá-la como?] um empreendimento humano”, afirmam Wang e Marsh (2002, p. 182) nas conclusões.

A escolha do artigo para a realização do trabalho de revisão foi nossa, pelo que aqui, no próprio processo de seleção, encontramos uma vontade de desenvolver um processo investigativo usando a HFC. Mais: mostra que na altura já reconhecíamos a *Science & Education* como recurso. Recordemos o título na sua formulação original: *Science Instruction with a Humanistic Twist: Teachers' Perception and Practice in Using the History of Science in Their Classrooms*. Esta vontade, que ecoou com a leitura crítica deste trabalho foi, quase em simultâneo, alimentada tanto pela possibilidade como pela necessidade da sua realização.

De facto, começámos de imediato a tomar contacto com os trabalhos publicados na *Science & Education*, onde o artigo de Wang e Marsh (2002) havia sido publicado; com a organização *International History, Philosophy and Science Teaching Group* [IHPST] – que nos facilitou o desenvolvimento do sentimento de pertença a uma comunidade – e com o projeto, então em desenvolvimento, *History and Philosophy in Science Teaching* [HIPST] com o qual travámos conhecimento sensivelmente na mesma altura através do artigo de Dietmar Höttecke, Henke e Riess (2012) que aparece primeiro *online* em dezembro de 2010.

O projeto HIPST tinha como objetivos gerais (IHPST, 2014):

Aumentar a *inclusão da história e filosofia da ciência na educação em ciência* em benefício da literacia científica; *melhorar estratégias para o desenvolvimento e implementação* de materiais relevantes em cada domínio, estratégias de ensino e aprendizagem na prática educacional; *reforçar a cooperação e estabelecer uma infraestrutura permanente* de uma rede sustentável de todos os parceiros envolvidos no campo da literacia científica e do conhecimento público da ciência (escolas, museus, universidades.) (sublinhado no original)

Na mesma altura, a Revista de Educação no seu volume XVII de 2010 lança um número temático:

Dedicado totalmente à História e Filosofia das Ciências apresentando um conjunto de artigos emergentes do Projeto HIPST – História e Filosofia no Ensino da Ciência – financiado pela CE através do 7º Programa Quadro e que visava a promoção da educação científica, da compreensão pública da ciência e da relação entre ciência, tecnologia e sociedade (Editorial)

Este conjunto de fatores sublinhou em nós a possibilidade de desenvolver um trabalho investigativo no âmbito da didática das ciências com o uso da HFC.

Se a vontade e a possibilidade estavam a reforçar-se mutuamente e a abrir caminho à construção de um projeto pessoal, a necessidade de tal projeto teria de ser sustentada.

Um primeiro passo na consciencialização dessa necessidade foi enformado pelos próprios trabalhos de investigação, grupos e revistas que temos vindo a mencionar. Eles davam conta de esforços de décadas realizados por educadores, filósofos e historiadores da ciência para “humanizar a educação em ciência” (Holton, 2003a; Matthews, 1994; Sequeira & Leite, 1988). E estes esforços não nos eram estranhos. O ensino que experienciámos na formação inicial era exemplificativo do ensino que não queríamos: muito fundado na inculturação paradigmática de Thomas Kuhn (1996) com introdução de conceitos, seu uso na resolução de problemas, introdução de novos conceitos que incorporam o anterior como caso particular, novamente resolução de problemas, relação estrutural entre os conceitos (Teoria), resolução de problemas. A par deste processo existia a iniciação ao trabalho laboratorial.

Thomas Kuhn (1996) exemplifica este processo:

Se, por exemplo, o estudante da dinâmica Newtoniana *alguma vez descobre o significado de termos como ‘força’, ‘espaço’ e ‘tempo’*, ele consegue-o menos pelas definições por vezes úteis ainda que incompletas do seu texto [de apoio] do que por observar e participar na aplicação destes conceitos à solução de problemas. (sublinhado nosso) (p. 47)

Note-se a possibilidade, para Kuhn, de o estudante de dinâmica Newtoniana nunca vir a descobrir os significados dos referidos termos na teoria que está a aprender; está claro na passagem acima que o estudante pode resolver os problemas sem perceber os conceitos (Figura 12).

Também Paul Hewitt (1995) dava voz a este processo que ele próprio passou enquanto aluno:

Assim como nós podemos aprender a recitar poesia sem a compreender, e memorizar a tabela periódica sem nenhuma noção do que trata a química, os alunos podem aprender

a resolver problemas de física – não todos eles nem mesmo a maioria deles, mas os suficientes para fazerem o curso – sem a menor percepção dos conceitos subjacentes (p. 85)

Este ensino-aprendizagem, que tivemos na nossa formação inicial e que denominámos, aliás na sequência de vários autores (e.g. Sérgio, 2006), de transmissivo e descontextualizado ou de ensino tradicional, i.e., ensino da ciência na sua forma acabada, como um conjunto de conceitos, leis e teorias sem história e sem relação com a restante experiência educacional do aluno, é um processo que pode levar ao sucesso académico mas não ao aumento da literacia científica e do conhecimento sobre ciência (Hammer, 1989).

É mesmo problemático defender que este tipo de ensino pode levar a um melhor conhecimento de ciência, pois há uma ausência generalizada de reflexão epistemológica em sala de aula. De facto, hoje temos uma vasta literatura que suporta esta necessidade (Elby, 2001; Hammer & Elby, 2002; Kalman, 2009; Lising & Elby, 2005; Redish, Saul, & Steinberg, 1998).

A Sofia recebeu um medalhão de ouro no natal. Querendo saber a massa do seu medalhão mas não tendo balança de precisão, mediu o seu volume numa proveta ($0,85 \text{ cm}^3$) e procurou a massa volúmica do ouro numa tabela ($\rho_{\text{ouro}} = 19,3 \text{ g/cm}^3$). Qual é a massa do medalhão da Sofia?

Figura 12. Típico problema paradigmático que surgiu num exame de uma UC que lecionámos em 2010/11.

Como refere Kalman (2009) “um problema maior na educação em ciências é levar os estudantes a mudarem a sua epistemologia sobre a aprendizagem de ciência” (p. 336), o que sob formas diversas é defendido por todos os autores acima referenciados, os quais certamente subscreveriam a afirmação de Facione (1990) segundo o qual “o coração da educação reside exatamente onde os defensores tradicionais de uma educação liberal sempre disseram que ele estava, no processo de *inquiry*, aprendizagem e pensamento e não na acumulação de capacidades e informações desconexas” (p. 1).

Mas se o que temos referido coloca em causa a possibilidade de aprender ciência para além de memorizar algoritmos que permitem a realização de um curso com sucesso, o ensino da ciência tem de igual modo como objetivo o ensino sobre ciência (Allchin, 2013; Cachapuz et al., 2002; S. Ferreira & Morais, 2010; Galvão, Reis, Freire, & Faria, 2011; Matthews, 1994; McComas & Olson, 2000). Ora, esta dimensão meta-científica que analisámos na nossa revisão da literatura está ausente no ensino

transmissivo e descontextualizado³¹.

Prosseguindo um esforço de várias décadas na investigação em educação em Portugal, e que de certo modo acompanhou a própria institucionalização académica da educação em ciência e do seu campo específico da didática das ciências (Cachapuz, Paia, Gil-Pérez, Carrascosa, & Martínez-Terrades, 2001; Carvalho, 1988), um conjunto significativo de investigações tem analisado esta realidade na educação em ciência e proposto novas abordagens ao ensino-aprendizagem, com ênfase no ensino secundário e tanto em ambientes formais (Almeida, Figueiredo, & Galvão, 2012; Freire, Faria, Galvão, & Reis, 2013; Galvão, Reis, Freire, & Almeida, 2011; Galvão, Reis, Freire, & Faria, 2011; P. Reis & Galvão, 2004b) como não formais (Faria, Chagas, Machado, & Sousa, 2012; Faria, Pereira, & Chagas, 2012). Uma outra linha de investigação, paralela a esta, remete para a clarificação de conceitos usados em sala de aula, como força, massa ou energia (Coelho, 2007, 2009, 2010; Valente, 1999), ou mesmo para o fundamento de campos intradisciplinares, como a mecânica clássica (Coelho, 2012).

Assim, o ensino da ciência (de ciência e sobre ciência) sofre de sérios problemas que estiveram presentes, também, na nossa formação de base. Procurámos complementar alguma insatisfação que sentíamos na altura com a leitura e o estudo autodidata de história da ciência; na altura uma HC que era uma “História das Ideias” em ciência.

Ainda que as aulas do Professor João Andrade e Silva se revelassem mais tarde fontes estimulantes de leitura e estudo, éramos então demasiado novos e estávamos demasiado enraizados no ensino tradicional, para captar todo o seu interesse. Mas eram aulas que, apesar disso, ecoavam em nós como fonte de humanidade na aprendizagem das ciências. Foi ainda no Anfiteatro Manuel Valadares que o Professor João Sousa Lopes nos introduziu à longa tradição de ensino na Faculdade de Ciências de Lisboa, contextualizando a história atribulada e desafiante da Escola Politécnica. Estas referências de erudição e dissensão ressoaram com a nossa atividade cívica: as leituras de filosofia e história acompanharam o nosso percurso de vida.

Este processo de ensino-aprendizagem pelo qual passámos foi replicado na nossa própria prática pedagógica que era recente e *naïve*. Tirando algumas experiências anteriores sem continuidade, foi em 2008 que iniciámos de modo sistemático a prática docente.

De imediato reproduzimos o processo transmissivo e descontextualizado de ensino que era, aliás, o único que nos era familiar. A taxa de retenção era altíssima nas

³¹ Não no ensino transmissivo e descontextualizado em abstrato, pois pode haver tratamento destes temas nesse tipo de ensino, mas no ensino que foi (e é) de facto exercido e que denominamos também de ensino tradicional.

UCs que começámos a lecionar. Também os outros colegas que lecionavam as mesmas UCs tinham taxas de reprovações igualmente altas. A nenhum de nós isso agradava, mas era, percebemos, uma imagem de marca daquelas unidades curriculares e, mais geralmente das UCs do domínio das ciências. Mas, contradição das contradições, o nível era elementar, introdutório. Como entender isto?

Na altura havia alguma percepção de que as coisas não podiam ser diferentes, a qual, aliás, era partilhada por mim: a ciência era um assunto difícil – nós quase sentíamos um orgulho em afirmar isto; era uma espécie de imagem de marca distintiva das ciências físicas – os alunos, dizíamos, “vêm com uma preparação do ensino secundário a matemática que é fraca” e os resultados não poderiam ser diferentes. Mas nós esforçávamo-nos por “explicar melhor”, dávamos e disponibilizávamo-nos para tutorias mas os alunos ou não vinham ou se vinham acabavam por “aprender pouco” (memorizar pouco, diria agora). Nunca sentimos verdadeiramente que desempenhássemos um papel no assunto: estávamos ali para “dar a matéria” (Notemos aqui que a matéria que “dávamos” era a matéria recebida; não concebíamos nenhum trabalho sobre ela). E se os alunos não percebiam o sentido das relações matemáticas, dos algoritmos significativos, da precisão e exatidão na medição e da própria resolução de problemas padrão de física elementar para a sua formação como educadores e professores do 1º e 2º CEB, o problema residia nos alunos pois o processo de aprendizagem de ciência era aquele.

Apenas processos administrativos, como o fim da nota mínima ou os efeitos dos processos de avaliação sobre o próprio desempenho docente vieram fazer com que parte significativa dos alunos que há anos não realizavam as UCs finalmente as realizassem com “sucesso”. Claro, como dissemos acima, sabemos agora de modo explícito e fundado o que sabíamos na altura por intuição: eles não aprenderam ciência.

4.2 As Nossas Transformações: o Processo

Este conhecimento explícito que acabámos de referir resultou de um processo de formação enquanto professor-investigador, que caminhou em paralelo com o processo investigativo e a nossa integração na comunidade da educação em ciência com a simultânea mudança ontológica e epistemológica.

O estudo, com a professora Olga Pombo, de autores como Karl Popper, Thomas Kuhn, Gaston Bachelard, Feyerabend, Imre Lakatos e Gerald Holton em simultâneo com as aulas da Professora Ana Simões (“História das Ciências, do Iluminismo aos nossos dias”), levou-nos a considerar a integração da ciência no processo mais vasto de criação de conhecimento e a olhar este como tentativo e provisório; a ver os seus fundamentos

como uma construção humana e a obtenção do adjetivo “científico” como resultado de um processo que não está predeterminado.

Numa segunda fase, ainda com Olga Pombo, explorámos a “Filosofia do Conhecimento Científico” e, com Henrique Leitão, abordámos a Revolução Científica do século XVII. Ainda tivemos oportunidade de frequentar “Historiografia das Ciências” com Ana Simões.

Este caminho permitiu-nos ver a própria mudança: o desaparecimento da história das ideias do campo da historiografia das ciências e o emergir do contexto e dos artefactos/instrumentos como objetos de estudo (Baird, 2004; Hacking, 1983) – sobre os quais, aliás, desenvolvemos um projeto de investigação que, também ele, é constitutivo da nossa identidade enquanto professor-investigador (Covelo, Maurício, & Pessoa, 2012) – o desenvolvimento de estratégias de persuasão por Galileu como caminho para disseminar as suas posições científicas (Biagioli, 2005) as quais viríamos a reencontrar em Newton (Schaffer, 1989); as diferentes estratégias de legitimação do conhecimento como conhecimento científico perante a comunidade dos pares, e mesmo o que constitui conhecimento (por oposição a opinião) (Shapin & Shaffer, 1984). O conhecimento científico aparecia como resultante de atividades profundamente humanas, onde o erro, a persuasão, o poder, o jogo de influências não tinham um papel menor.

Os próprios problemas da Filosofia do Conhecimento Científico, o que apresentam é a sua diversidade nos conteúdos e na abordagem. O problema da demarcação toma uma diversidade de aspetos conforme o autor que o ataca, e.g. Popper (2005) ou Feyerabend (1993); o problema da validade (do conhecimento) é aproximado de modo diverso pelos positivistas lógicos – o ventre de onde quase todos vieram – ou por Thomas Kuhn (2011); o problema da progressão do conhecimento científico conhece respostas diversas, conforme olhamos para Lakatos (Lakatos, 1970b) ou Popper. Em todas estas abordagens à epistemologia, a História da Ciência (HC), ou casos de estudo da HC são, conforme os casos, fundamento ou ilustrações para os seus argumentos. Foi para nós muito rico ler sobre a metodologia que Newton afirma conduzir ao conhecimento certo – mais, afirma que é o único método que conduz ao conhecimento certo – em Feyerabend (1981). Ver a filosofia em movimento, o pensamento em movimento (em diálogo) e destruir a “filosofia espontânea do cientista” Althusser (1990) que nos dominava foi conhecer um outro mundo.

Esta ideia de descoberta de um novo mundo é, aliás, uma ideia a que por vezes aludimos quando queremos representar a nossa inserção na comunidade da educação em ciência. A educação como campo do conhecimento, como ciência social foi uma descoberta, e o diálogo que mantínhamos com colegas sobre esta questão mudou

radicalmente de interlocutor: hoje são colegas do domínio das ciências da natureza que interpelamos, enquanto ontem eram os colegas das ciências sociais. Verificámos que sabíamos tão pouco (sabíamos mal) e que não tínhamos qualquer sofisticação epistemológica.

Duas notas podemos inferir desta primeira evolução. Uma primeira, é a confirmação do quão útil é a ligação da História da Ciência com a Filosofia da Ciência e assim, falar, como começámos em 2011, seguindo a literatura, em HFC e não apenas em HC, afigura-se-nos agora como essencial.

Ainda que o nosso projeto investigativo faça uso da História da Ciência para trabalhar uma sequência didática, a nossa leitura da HC foi informada pela filosofia da ciência que, além do mais, clarifica termos como facto, evidência, causa, lei, explicação, modelo, indução, conceito ou teoria, por um lado e, por outro, num segundo nível de análise, permite uma identificação das nossas posições sobre o conhecimento e sua evolução bem como assumir de modo explícito uma ideia de ciência.

De certo modo voltámos à literatura e podemos agora entender, olhando de outro modo, a ideia de Michael Matthews (1994) segundo a qual:

Os professores, como profissionais, devem ter um conhecimento histórico e filosófico do seu conhecimento de conteúdo, de forma totalmente independente do facto de esse conhecimento ser ou não usado diretamente em sala de aula: os professores devem saber mais dos seus assuntos do que é necessário para ensinar. Os professores têm uma responsabilidade profissional para ver além dos muros da escola. Eles estão a lidar com a formação da mente de crianças e a introduzir as crianças naquilo que John Dewey chamou de conversação da humanidade. Os professores de ciência, em particular, estão a introduzir as crianças a uma tradição que é complexa, rica, influente e de grande significado cultural. (...) Eles têm uma responsabilidade para com a sociedade, para com a sua profissão e para com os seus alunos, tanto em compreender ciência como em ver a ciência nos seus amplos contextos históricos, filosóficos e culturais. (pp. 200, 201)

Uma segunda nota relaciona-se com a necessidade do nosso processo investigativo: ganhou uma nova urgência, agora intrínseca a nós próprios, quando antes era ainda uma necessidade que resultava do confronto da nossa prática, com a literatura. Esta urgência revelou-se no estudo quase avassalador da literatura relevante, atividade que nunca abandonámos ao longo do nosso trabalho de investigação e que foi ganhando em dimensão e consistência; atividade que prosseguirá após este trabalho.

4.3 Outras Instâncias de Mudança

A nossa mudança também se revelou nas metodologias que optámos por seguir e nas que escolhemos não seguir. O processo não foi linear. É certo que afirmámos no capítulo anterior, referente ao processo metodológico, que a nossa visão da investigação-ação não era metodologicamente orientada. No entanto sendo isso verdade, privilegiámos sempre que possível abordagens qualitativas. A nossa abordagem à obtenção e tratamento de dados, bem como a nossa visão do que conta como “dados” em ciência, e em particular em educação remete para o contexto em que a investigação ocorre.

Como afirmámos (cf. § 3), a sala de aula e o processo didático é um sistema complexo de múltiplas interações cuja riqueza dificilmente é captada por números: de qualquer modo, os números nunca contariam toda a estória e certamente não contaria o que nos interessa, i.e., como nós e os alunos trabalhamos no sentido de promover a mudança; em que medida fomos bem sucedidos, onde falhámos e o que fica como ganho deste processo para investigações futuras.

Então como escolhemos, (critérios) e que abordagem utilizámos na transformação da HFC em direção a um ensino humanizado? (Segunda questão de investigação: Quais os processos utilizados na transformação das práticas de ensino em direção a um ensino das ciências com HFC?)

O enunciado desta questão não pretende fechar a análise dos processos de mudança por que passámos enquanto professor-investigador (Primeira questão de investigação: De que modo a HFC modificou a nossa posição teórica relativa ao ensino-aprendizagem e compromissos ontológicos e epistemológicos enquanto professor-investigador?), antes introduz um novo nível de análise, nomeadamente aquele que levou à abordagem do processo de investigação sobre como introduzir HFC no ensino.

Num primeiro momento optámos por não trabalhar na ótica da epistemologia genética de Piaget (1991). Michael Matthews (1992b, pp. 22–24, 1994, p. 210), Filomena Amador (2010, p. 9,10), Susan Carey (2009, p. 3,4) entre muitos outros levantam problemas de vária ordem. Keith Taber (2010) na revisão que realizou do *International Handbook of Research on Conceptual Change* editado por Stella Vosniadou sintetiza um problema que, agora, nos parece fundamental:

Ainda que muito do modelo de Piaget tenha sido abandonado por muitos investigadores, e que a premissa que dar ênfase à cognição domínio independente (*domain-general cognition*)³² como um projeto útil e com significado tenha sido largamente questionada,

³² Tradução livre. É aceite que a cognição é um processo modular (e.g., Carey & Smith, 1993; Carey, 2009) e não um processo transversal e independente do domínio do conhecimento.

a noção de que aspetos fundamentais do processo de tornar-se um adulto pensante normal, segue um padrão geral que é em grande medida biologicamente determinado e se desenvolve num largo espectro de circunstâncias específicas é certamente fortemente sustentada. (...) *A aprendizagem, no entanto, é muito diferente de desenvolvimento [biológico].* (p. 567) [ênfase nossa]

Aliás, após o artigo seminal de George Posner et al. (1982) sobre mudança concetual, a mudança como ocorrendo em domínios específicos (Carey & Smith, 1993; Carey, 1985; Vosniadou et al., 2009), ou por aglutinação e/ou evocação de uns primitivos fenomenológicos (*p-prims*) em detrimento de outros (DiSessa, 2008) e não por uma mudança global na estrutura cognitiva, é uma abordagem à mudança concetual suportada pela investigação.

No entanto é um facto que os alunos replicam, nas suas concepções prévias as estruturas explicativas de estádios pré-paradigmáticos para a explicação de fenómenos como a cor (Empédocles, e.g., nossa investigação), para o peso de um corpo após mudança de estado (Galili & Kaplan, 1996a), bem como vários outros fenómenos físicos, como por exemplo as explicações para a velocidade ou luz (Dedes, 2005; Eckstein, 1997).

Mas o nosso ensino-aprendizagem ocorre após mais de 12 anos de escola, pelo que a abordagem que Thomas Kuhn popularizou de um paralelismo entre a evolução ontogenética e filogenética (Matthews, 1992b, p. 23) apenas serviria para uma pedagogia de ilustração. Ainda assim, no início do trabalho, o nosso principal argumento para rejeitar a abordagem de Piaget, veio de Amador (2010) quando afirma:

não é razoável propor que os estudantes sigam todas as etapas evolutivas do conhecimento científico até chegarem à aprendizagem dos paradigmas aceites pela ciência no presente. Uma proposta deste tipo, se levada ao extremo, carece, a nosso ver, de realismo. (p.9)

Uma outra abordagem ao uso da HFC que considerámos seriamente foi a proposta de Metz, Klassen, McMillan, Clough e Olson (2007) e, tanto quanto é do nosso conhecimento, primeiro fundamentada em Monk e Osborne (1997), do uso de narrativas ou vinhetas históricas em sala de aula. Apesar de considerarmos a crítica de Rudge e Howe (2009) um bom argumento contra esta abordagem ao uso da HFC, decidimos dar os primeiros passos para a sua implementação.

Monk e Osborne (1997) defendem uma abordagem implícita da Natureza da

Para Piaget, os processos cognitivos não dependiam do domínio do conhecimento.

Ciência (NC), como decorrendo do próprio ato de dar a conhecer detalhadamente um “caso” da HC – pessoa, acontecimento, etc. No entanto esta abordagem, implícita, à NC entra em confronto com os resultados da investigação, os quais defendem uma abordagem explícita da NC (Bell, Lederman, & Abd-El-Khalick, 1998). Se a NC é um resultado pretendido do processo de ensino-aprendizagem, então, como qualquer outro resultado cognitivo, deve ser explicitado. Outra crítica de Rudge e Howe (2009) prende-se com a autoridade conferida pelo aluno ao conhecimento do professor. Se as vinhetas históricas são apresentadas após o levantamento das concepções prévias dos alunos, com um exame detalhado do contexto da época e uma exposição não anacrónica das várias explicações então avançadas (se de explicações se tratar), como mais ideias a serem consideradas pelos alunos, então como afirmam (Rudge e Howe, *ibid.*):

Uma comparação das concepções parciais e tentativas articuladas pelos alunos com concepções cuidadosamente avançadas por atores históricos contidas nas vinhetas (introduzidas com a autoridade tácita da palavra escrita), teria muito provavelmente o efeito de descartar explicações sinceramente sustentadas pelos estudantes em favor da perspectiva introduzida pelo professor. (p. 565)

Mais, ainda segundo os mesmos autores:

Ter os alunos a ler vinhetas como base para uma discussão de como e porquê cientistas no passado alcançaram as conclusões que alcançaram, pode facilmente transformar-se numa experiência passiva para os alunos [pois] (...) eles estão a refletir e a avaliar interpretações de outros cuja compreensão concetual do fenómeno eles podem ou não partilhar, em lugar de se confrontarem com as suas próprias concepções sobre o fenómeno. (p. 565)

Por fim, continuam Rudge e Howe (2009), a “atenção excessiva ao detalhe histórico” (p. 565) que Monk e Osborne (1997) parecem defender, pode ser percebido pelos alunos como irrelevante ou não relacionado com “o que interessa.” Uma crítica final de Rudge e Howe (*ibid.*) prende-se precisamente com esta questão do objetivo da aula.

Conforme afirmam, “certamente a maior motivação para introduzir a perspectiva histórica é fornecer intuições (*insights*) sobre a visão moderna e seus desenvolvimentos históricos. No entanto, no modelo que eles apresentam, tal conexão não é elaborada.” (*id.*, *ibid.*) Assim, Rudge e Howe (*ibid.*) manifestam preocupação sobre “os efeitos nos estudantes quando os professores introduzem a visão moderna como a ‘visão científica’” (*ibid.*), “pois tal poderá comprometer o sentido das discussões que tiveram e, de facto, podem levar os estudantes a entender o exame do trabalho de cientista

passados como simplesmente perda de tempo.” (ibid.)

A última fase do modelo de Monk e Osborne (1997, p. 420), “Revisão e Avaliação”, surge-nos como a mais interessante, pois coloca os alunos a argumentar com base em evidências e a ponderar o seu peso na resolução final do debate. Metz et al. (2007) argumentam também em favor do uso de narrativas para a aprendizagem de ciência e sobre ciência. No entanto, o seu trabalho é em simultâneo um desenvolvimento e uma crítica do trabalho de Monk e Osborne (1997).

Como referem Metz et al. (2007), “as narrativas históricas, quando construídas com tato, incluem naturalmente um elemento humanizador que levanta preocupações pessoais, éticas, sociológicas, filosóficas e políticas, as quais tendem a aumentar o interesse e a motivação dos alunos” (p. 315). No seu trabalho, abrem a possibilidade de utilização de narrativas e da própria forma narrativa (Metz et al., 2007, pp. 316–320; Polkinghorne, 1988): como abertura de portas (desencadear do interesse), como estória (eventualmente memorável), como estória-tema (*storyline*), como estória-narrativa pessoal e, ainda, como estórias curtas.

Esta abordagem de Metz et al. (2007) oferece um fundamento para um uso mais plástico da forma narrativa que a torna mais apelativa para os nossos objetivos. No entanto, aquando do início da nossa investigação, as dificuldades do uso da narrativa em sala de aula pareciam superar as vantagens que vislumbrávamos.

Em Höttecke, Henke e Riess (2012, p. 1237) encontramos uma posição muito cética relativamente à possibilidade de funcionamento do modelo de Monk e Osborne (1997) e que já observávamos no trabalho de Metz et al. (2007).

Como afirmam Höttecke et al. (2012), “os estudantes bem como os professores de física estão imersos numa cultura disciplinar de ensino e aprendizagem que é consideravelmente tradicional e enfatiza a segurança e integridade (*completness*) do conhecimento científico atual.” (p. 1237). O que parece ir ao encontro da posição já referida sobre a necessidade de trabalhar a epistemologia sobre a aprendizagem (Kalman, 2009) mas também relembra a crítica de John Dewey (1985) à forma acabada da ciência tal como é ensinada. Além do mais, adiantam Höttecke et al. (ibid.) “devemos ter em conta que a HFC aparece como uma abordagem bastante exótica para a maioria dos professores de ciência e seus alunos” (p. 1237) pelo que surgem problemas de competência dos professores. Mais, o facto de a abordagem de ensino da ciência com HFC ser não usual, faz com que qualquer mudança no ensino-aprendizagem, mesmo para apenas um caso de estudo, ou um tópico, implique uma mudança demasiado radical e imediatamente notada pelos alunos.

4.4 Das Narrativas à Descoberta das Sequências de Ensino-aprendizagem

Logo após termos decidido avançar pelo uso das narrativas em sala de aula, muito no início do nosso trabalho investigativo, trabalhámos o estudo de caso de Galili (2010) “Viagem à história do conceito de Imagem e Visão: de Pitágoras a Kepler” que adaptámos para Português (Apêndice G). Ao apresentarmos esta excursão histórica numa aula em que trabalhávamos a construção da imagem por Kepler, uma aluna perguntou no final, fazendo eco do sentimento de todas as outras: mas isso é preciso saber? Ou seja, sai para o teste? E nós não estávamos preparados para responder a isto. Após uma hesitação dissemos que não, não era preciso saber, e avançámos “com a matéria”. Esta experiência teve um peso essencial na nossa decisão de não adotar, pelo menos nesta investigação, a forma narrativa ou digressão histórica.

Ainda assim, era necessário considerar esta possibilidade seriamente pois já havíamos investido uma quantidade significativa de tempo e trabalho e, eventualmente, fruto de uma mais cuidada avaliação das possibilidades e constrangimentos, nossos e dos processos, a decisão de não adotar a forma narrativa poderia ser revertida. Deste modo mantivemo-la em suspenso.

Rudge e Howe (2009), acompanhados por vários autores (Allchin, 1992, 2003, 2013; Höttecke et al., 2012) propõem, por seu lado, um uso instrumental da HFC. Tendo em conta os constrangimentos do ensino das ciências em sala de aula, que aliás são avançados por Monk e Osborne (1997, pp. 406–408), Rudge e Howe (ibid.) defendem o uso da HFC:

Para explorar concepções prévias que os alunos trazem para a sala de aula e para lhes dar oportunidades de pensar de acordo com o que os cientistas no passado fizeram, como um exercício em pensar como cientistas, em lugar de recapitular exatamente o que historicamente aconteceu. Pensamos que a história da ciência é melhor usada para ajudar os alunos a superar concepções alternativas que possuem sobre fenómenos científicos quando são convidados a estudar os tipos de considerações que levaram cientistas no passado a ultrapassar concepções similares, ou quando a compreensão do desenvolvimento histórico é necessária para que [as concepções de hoje] façam sentido. (sublinhado nosso) (p. 566)

Assim, para atingir estes objetivos pedagógicos, Rudge e Howe (2009) defendem:

que é apropriado e mesmo avisado que os professores rompam com a real sequência de eventos e detalhes históricos quando (...) a vantagem de desenvolver uma compreensão mais sofisticada da história da ciência é superada por considerações de

A estes usos da HFC, Höttecke et al. (2012), seguindo a aproximação instrumental de Rudge e Howe (2009) propõem o uso da HFC para (re)construção didática. Aliás, é o modelo de reconstrução didática (Duit, 2007; Höttecke et al., 2012, p. 1238) que é usado para a elaboração dos estudos de caso do projeto HIPST. Também Allchin (2013, pp. 28–45) desenvolve um conjunto articulado de argumentos que sustentam o título do capítulo “História como um instrumento” (*History as a tool*) no seu recente livro *Teaching the Nature of Science: Perspectives & Resources*.

Não foi no entanto, através da leitura de Dietmar Höttecke et al. (2012) que descobrimos a sequência de ensino-aprendizagem (*teaching-learning sequences* no original, com o acrônimo TLS que usaremos durante todo o texto). Mas notamos agora, numa nova leitura do trabalho de Höttecke et al. (ibid.), que as nossas opções metodológicas para o uso da HFC no ensino já lá estavam, nomeadamente no uso da reconstrução educacional e na referência explícita a um trabalho de 2004 de Reinders Duit e colegas “*Towards science education research that is relevant for improving practice: The model of educational reconstruction*” (Höttecke et al., 2012, p. 1238). Já conhecíamos Reinders Duit por ser um autor citado por autores como Méheut e Psillos (2004) no artigo com o título de “*Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research*” devido às suas investigações em reconstrução educacional (Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek, & Parchmann, 2012), assim como pelo seu trabalho em mudança concetual (Duit & Treagust, 2003; Duit, Treagust, & Widodo, 2008) ou, ainda, através de Peter Lijnse e dos seus trabalhos em didática das ciências (Lijnse, 1995, 2000, 2004). Antes de avançarmos, convém perceber porque as TLS ou o modelo de reconstrução educacional de Duit et al. (2012; 2007) se tornou relevante para o nosso percurso.

Peter Lijnse (2000) exerceu em nós uma influência no domínio da didática que só comparamos ao trabalho de Yves Chevallard e Marie-Albert Joshua (1991). Ao explicitarem o conhecimento (académico ou de referência) como problemático e a necessitar de trabalho didático (de transposição), colocam o conhecimento, não como um dado estável do processo de ensino-aprendizagem, mas como um problema a ser trabalhado.

Ora, esta aproximação ao ensino-aprendizagem das ciências evoca o nosso sentido inicial de transformação das nossas práticas de ensino-aprendizagem que sempre envolveram, ainda que de modo implícito, o conhecimento (académico) e o conhecimento do professor como matéria a ser trabalhada. No início do nosso processo investigativo, havia em nós um elevado nível na identificação entre os dois

conhecimentos: a aderência a um ensino transmissivo e descontextualizado resulta muito de adotarmos uma grande identificação entre o conhecimento do professor como o conhecimento acadêmico.

Yves Chevallard e a referência à teoria da transposição didática (TD) foi encontrada em Filomena Amador (2010) e foi seguindo este fio que chegámos às sequências de ensino-aprendizagem. No entanto, durante muito tempo, pensámos em usar a HFC para informar a nossa TD. De acordo com Chevallard e Joshua (1991), “*todo o projeto social de ensino e aprendizagem constitui-se dialeticamente com a identificação e a designação de conteúdos de saberes como conteúdos a ensinar.*” (p. 39) (sublinhado no original) Continuam, afirmando:

Os conteúdos dos saberes designados como sendo *a ensinar* (explicitamente: nos programas; implicitamente: através da tradição, *evolutiva*, de interpretação dos programas), em geral *preexistem* ao movimento que os identifica como tal. Às vezes, no entanto (...) são verdadeiras *criações didáticas*, suscitadas pelas ‘necessidades do ensino’ (sublinhado no original) (id., ibid.)

Num terceiro momento, definem então a transposição didática como o trabalho ou “conjunto de transformações adaptativas” que “um conteúdo de saber tendo sido designado como saber a ensinar sofre e que “irá torná-lo adequado a tomar lugar entre os *objetos de ensino.*” (id., ibid.)

A TD, conforme elaborada por Chevallard e Joshua (1991), ainda que elaborada no quadro da didática da matemática, seduziu-nos pela sua consistência e capacidade de gerar conhecimento didático (poder heurístico). No entanto, a sua origem na didática da matemática e o não encontrarmos referências significativas ao seu uso na didática das ciências, por um lado, e por outro, a ligação estreita que se verificava existir com a investigação no domínio das sequências de ensino aprendizagem, levou-nos a abandonar o uso da TD e a adotar as sequências de ensino aprendizagem (Duit, 2007; Duschl, Maeng, & Sezen, 2011; Leach & Scott, 2002; Lijnse, 1995, 2004; Méheut & Psillos, 2004; Tiberghien, Psillos, & Koumaras, 1995; Tiberghien, 1996, 2000).

Leach e Scott (2002, pp. 135–137) ligam explicitamente a TD ao seu próprio entendimento do processo de criação de sequências de ensino-aprendizagem. Pareceu-nos, portanto, mais natural seguir as abordagens mais usadas na didática das ciências, onde se situa o nosso trabalho. Não afirmamos com isto que fazer o contrário, e usar explicitamente uma abordagem usual em didática da matemática seria de algum modo errado; apenas referimos que não foi esse o nosso percurso.

Antes de abordar a nossa interpretação e uso do quadro teórico das TLS torna-se necessário abrir um parêntese para que possamos explicitar algumas abordagens no

nosso estudo que ficaram, até agora, na forma implícita.

4.5 Um Ponto da Situação Antes de Avançarmos

Na nossa problemática e questões de investigação que a operacionalizam, afirmamos que o ensino humanizado (cf. §1.2) é um ensino onde a HFC está presente, entre outras condições que avançamos: ensino centrado no aluno, contextualizado, presença do *inquiry* e de controvérsias sócio científicas bem como da natureza da ciência.

A ideia inicial era de facto ensinar ciência e sobre ciência mas de modo a que os alunos também aprendessem HC. Assim, esta serviria como instrumento para ensinar sobre a natureza da ciência, como contextualização dos conceitos e processos de ciência e como conhecimento com utilidade própria.

A certa altura, antes do início do ano letivo de 2011/2012, tomámos a opção de desenvolver a nossa investigação-ação no campo disciplinar da ótica geométrica, que consistia apenas em um dos três grandes blocos de ensino-aprendizagem que desenvolvíamos numa disciplina, sendo um outro astronomia, e eletricidade e magnetismo o terceiro.

A ótica era, desde há vários anos o primeiro bloco de ensino-aprendizagem nesta sequência, e foi pelo início que decidimos começar, não existindo outro motivo para a escolha. Mas havia duas razões claras para não irmos mais além: uma relacionava-se com o não podermos mudar tudo e de uma única vez, a outra, relacionada com esta, prendia-se com o facto de ser necessário estudar a história da ótica e isso levaria tempo.

Assim a restrição do nosso processo investigativo a um dos três módulos de ensino-aprendizagem resultou de uma dificuldade que nós antevíamos e que é relatada na literatura, a saber, a necessidade de evitar uma abordagem anacrónica da HC (Galili & Hazan, 2001; Höttecke & Silva, 2011).

Começámos então por sentir a necessidade de estudar a história da ótica. Desse estudo, emergiu uma leitura própria da história da luz e das cores (Apêndice C) (a ótica de que falamos é essencialmente ótica geométrica, mas um elemento fundamental desse ensino-aprendizagem é a explicação de fenómenos óticos, onde a cor, entre outros, desempenha um papel central). Esta nossa história foi sendo construída à medida que as nossas leituras e necessidades se informavam mutuamente. A título de exemplo, a nossa abordagem à cor pré-aristotélica, surgiu da percepção que enveredávamos por uma distorção histórica em iniciar a abordagem da filosofia natural à cor com Aristóteles e não com Empédocles o qual, esse sim, criou uma tradição que Aristóteles prosseguiu (Katerina Ierodiakonou, comunicação pessoal, julho 2014).

Seguindo quase de imediato as nossas primeiras investigações vimos que o texto de Isaac Newton “Nova Teoria da Luz e das Cores”, apresentado à *Royal Society* em 1671/2, e que é um texto inovador e revelador em variadíssimos aspetos, havia sido utilizado por Cibelle Silva e Roberto Martins, investigadores do Brasil, para que aspetos da natureza da ciência fossem abordados em sala de aula (Martins & Silva, 2001; Silva & Martins, 1996, 2003). Após uma primeira leitura da tradução para português do Brasil da “Nova Teoria” e confrontando com o original disponível no Projeto Newton (“Projeto Newton,” 2014) e no arquivo das *Philosophical Transaction* (Newton, 1671) verificámos a necessidade de uma tradução comentada para a língua portuguesa usada em Portugal (Apêndice D): por um lado os brasileirismos eram muito acentuados no texto, dificultando uma leitura limpa para um leitor de Portugal, por outro, a tradução era demasiado literal em algumas partes e, a nosso ver, errada noutras. Em simultâneo, e este é um ganho que consideramos de valia e que fica de certo modo escondido se não o explicitarmos, o processo de tradução cotejada com a tradução em português do Brasil e com a tradução francesa comentada por Claude Guthmann (2010) permitiu-nos entrar nas subtilidades argumentativas e no processo de cálculo e raciocínio desenvolvido por Isaac Newton.

Ao mesmo tempo que traduzíamos a “Nova Teoria”, confrontávamos a apresentação aí realizada com a apresentada mais tarde na *Optiks*, primeira edição de 1704 (Newton, 1704), também disponível *online* bem como com as “Lições de Ótica” que Shapiro traduziu do Latim para Inglês (Newton, 1984). Este conjunto de textos, a que adicionamos a historiografia produzida, bem como alguns outros textos originais como a Ótica de Descartes (1965) ou o *Treatise on Light* [Tratado sobre a Luz] de Huygens (1912) deram-nos a conhecer um mundo onde a ciência da luz e da cor estava em mudança acentuada: os atores trocavam argumentos, os conceitos formados e transformados até que estabilizavam e as teorias eram elaboradas de modo diverso consoante o autor; as experiências mudavam de função e os argumentos em torno da interpretação dos resultados desencadeavam vivos debates; a própria introdução e validação de novos instrumentos (e.g., prisma) surgia na altura como fundamental colocando os instrumentos como objetos epistémicos (Apêndice C)

A certa altura da imersão no material historiográfico, verificámos que a nossa própria compreensão dos processos, conceitos e contextos se tinha adensado e tornado mais rica. Este processo, que decorreu com a nossa investigação sobre concepções prévias de alunos de diversos graus de ensino acerca de ótica bem como com a constatação que os nossos próprios alunos desenvolviam um conhecimento muito superficial sobre conceitos e processos elementares de ótica, levou-nos a questionar se o nosso ensino não estaria a reforçar concepções prévias alternativas.

Mais concretamente, colocou-se-nos a questão: a nossa sequência de ensino-aprendizagem será adequada à promoção da mudança concetual? De facto, ao estudarmos a história da ótica vemos mudanças ontológicas (e.g., o que é a luz; o que é o raio de luz; o que é a imagem) e epistemológicas (será a cor suscetível de ser conhecida com o mesmo nível que o comportamento da luz? O papel da experiência e da argumentação no estabelecimento do conhecimento ótico) que segundo a literatura, os nossos alunos não realizam.

4.6 As Sequências de Ensino-aprendizagem no Nosso Processo Investigativo

Méheut e Psillos (2004) fazem uma revisão dos trabalhos de construção, implementação e validação de sequências de ensino-aprendizagem (TLS). Conforme afirmam Méheut e Psillos (ibid., p. 515), “uma característica distintiva destas atividades e produtos investigativos é o seu carácter dual, o qual envolve tanto a investigação como o desenvolvimento, tendo como alvo uma ligação próxima entre o ensino e a aprendizagem de um tópico particular.” Ou, adiantam ainda, na esteira do trabalho de vários autores que uma TLS é tanto uma atividade investigativa como um produto de ensino-aprendizagem (Duit et al., 2012; Duit, 2007; Leach, Amettler, & Scott, 2010; Lijnse, 1995, 2000, 2004; Tiberghien et al., 1995). No mesmo programa de investigação, Leach e Scott (2002, pp. 121–124) redefinem uma sequência de ensino, no quadro concetual socio-construtivista em que trabalham, como implicando as seguintes atividades:

a) Tornar disponível o conhecimento escolar a ser ensinado. Este estágio da sequência de ensino não é realizado de uma vez nem remete para uma única atividade e/ou diálogo. Em geral remete para um processo que envolve várias atividades em momentos diferentes que permitem a gradual disponibilização do conhecimento escolar a ser ensinado aos alunos.

b) Suportar a internalização (no sentido de Vygotsky (1978, pp. 52–57), i.e., tornar o conhecimento escolar um conhecimento que adquire sentido, que se torna significativo, em cada aluno) do conhecimento tornado disponível pelo professor aos alunos. Este processo é realizado ao longo da sequência de ensino-aprendizagem. Nesta atividade Leach e Scott (ibid.) consideram central no papel do professor que este monitorize de modo contínuo o conhecimento dos alunos na sua relação com o conhecimento escolar (conhecimento cientificamente aceite). Esta monitorização é ativa, ou seja, pressupõe uma intervenção contínua do professor na resposta ao conhecimento explicitado pelo aluno.

c) “Transferir responsabilidades para os alunos” (p. 124), que é a “conclusão

lógica” (ibid.) das atividades de internalização do conhecimento. Esta última etapa da sequência de ensino envolve oportunidades para os alunos experimentarem por si, de modo autónomo, as novas ideias. Este processo é acompanhado pelo professor: à medida que o aluno vai ganhando competência e confiança, o professor, vai-se afastando.

Tendo explicitado uma sequência de ensino, Leach e Scott (ibid., pp. 124-127) esclarecem então o significado operacional do conceito de necessidades de aprendizagem (*learning demands*). Este conceito é um instrumento, elaborado no quadro do sócio construtivismo, que permite avaliar as diferenças entre a linguagem social do dia-a-dia que os alunos trazem para a escola e a linguagem social da ciência escolar. Logo, ao identificar as necessidades de aprendizagem torna-se mais evidente o desafio intelectual com que os alunos se confrontam perante determinado tópico. Mais,

Um ponto importante relativo à operacionalização do conceito de necessidades de aprendizagem é que uma necessidade de aprendizagem pode ser identificada para um grupo de alunos trabalhando dentro de um tópico específico de ciência. Isto segue do facto de que os alunos estão imersos numa linguagem social comum no dia-a-dia e portanto chegam à escola com uma grande similaridade de pontos de vista (p. 126)

De notar, assim, que o conceito de necessidade de aprendizagem, se relaciona muito com diferenças entre a linguagem social e os seus significados, pelo que são, “por natureza” diferenças epistemológicas e não psicológicas (Leach & Scott, 2002).

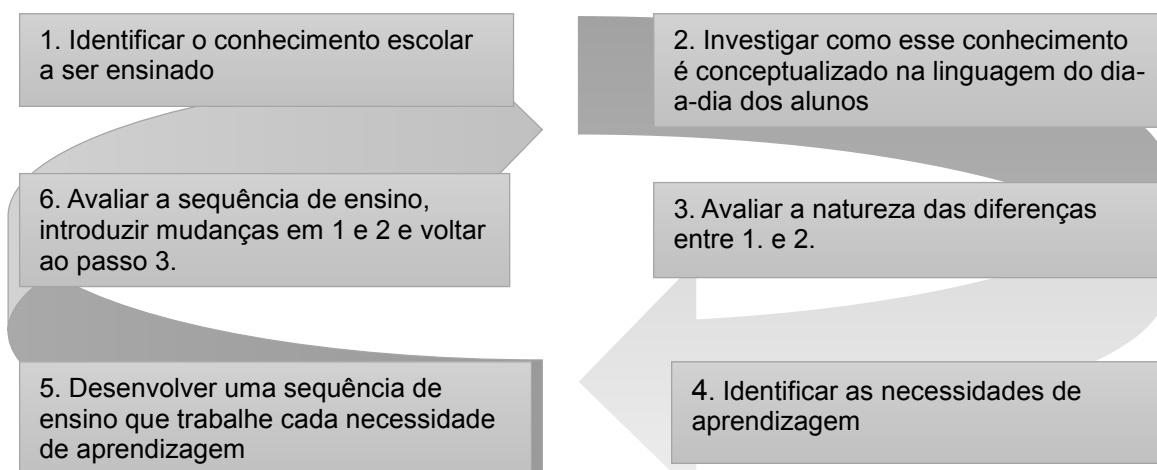


Figura 13. Passos para a construção de uma sequência de ensino-aprendizagem (TLS). Adaptado de Leach e Scott (2002)

Para identificar necessidades de aprendizagem para uma área específica do conhecimento escolar, Leach e Scott (2002) afirmam que elas podem surgir: da

diferença nos instrumentos conceituais usados; da diferença na epistemologia que sustenta essas ferramentas conceituais; das diferenças na ontologia sobre as quais essas ferramentas conceituais se baseiam.

Assim, Leach e Scott (2002, pp. 127–130) defendem o seguinte plano para a elaboração de uma TLS (Figura 13): a) “identificar o conhecimento escolar a ser ensinado”, b) “Considerar como esse conhecimento é concetualizado na linguagem do dia-a-dia (social) dos alunos”, c) “Identificar as exigências de aprendizagem através da avaliação da natureza das diferenças entre a) e b)” e d) “desenvolver uma sequência de ensino que vá ao encontro de cada aspeto da exigência de aprendizagem”.

4.7 Primeiro Ciclo de Investigação-ação

Iremos de seguida descrever o processo de construção da sequência de ensino-aprendizagem realizado no nosso estudo. Este processo envolveu a identificação do conhecimento a ser ensinado (conhecimento escolar), o qual vem acompanhado de um conjunto de constrangimentos que ditam as possibilidades e limitações da escolha do professor: tempo de ensino, necessidades de aprendizagem dos alunos, conhecimento científico de referência, tradição de ensino. Em conformidade, apresentaremos o resultado da análise de cada um destes fatores, realizada no âmbito da investigação desenvolvida após o que explicitaremos a construção didática patente na planificação desenvolvida para o primeiro ciclo investigativo. Analisaremos de seguida, a implementação da TLS evidenciando quer os ganhos quer os problemas surgidos. Esta informação determinou a elaboração da segunda TLS, que correspondeu ao segundo ciclo investigativo completado na investigação.

4.7.1 Identificar o conhecimento escolar a ser ensinado

Iniciámos o desenho da sequência de ensino-aprendizagem através da análise dos conceitos e processos que tínhamos como objetivo de aprendizagem para a ótica geométrica, i.e., começámos por identificar o conhecimento escolar da ótica geométrica a ser ensinado e ao qual corresponde o passo 1) da Figura 13. Cinco fatores influenciaram a construção do conhecimento escolar a ser ensinado (Figura 14).

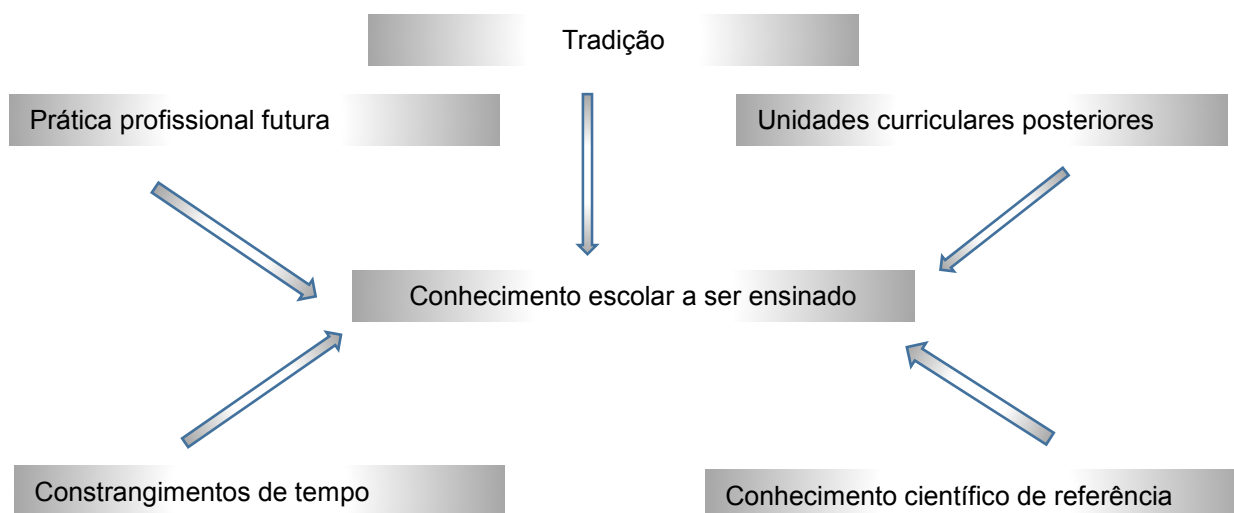


Figura 14. Fontes para a construção do conhecimento escolar a ser objeto de ensino-aprendizagem.

Num primeiro momento, a identificação do conhecimento científico de referência. Depois, num segundo momento, o ensino que encontrámos (a tradição) desenvolvida por outros colegas e que transportámos para o nosso próprio ensino. Num terceiro momento, o conhecimento necessário para a prática profissional futura dos nossos alunos, i.e., a necessidade de promover aprendizagens suscetíveis de poderem vir a dinamizar uma prática profissional de elevada qualidade, a qual, naturalmente, já se encontra na própria definição da tradição. Em quarto lugar os constrangimentos de tempo a dois níveis: dentro do tempo atribuído às UCs de ciências físicas e da natureza e às didáticas, no quadro mais geral do plano curricular de formação de professores existente na escola e, num outro nível, que interage com este, o tempo indicado em documentos oficiais para que educadores e professores do 1º e 2º CEB trabalhem com os alunos estes assuntos, o que, aliás tem um efeito psicológico na importância percebida pelos nossos alunos, futuros professores e educadores, sobre estes assuntos. Por fim, a nossa UC insere-se num programa de formação de professores e deve ela própria desenvolver aprendizagens que sejam úteis, ou potencialmente úteis para aprendizagens em UCs posteriores.

Vamos agora analisar criticamente a planificação existente e que foi por nós adotada antes do ciclo investigativo (constrangimentos da tradição), depois passaremos a analisar o constrangimento “conhecimento para a prática profissional futura” e como ele se relaciona com o tópico da nossa investigação. De seguida realizaremos uma análise crítica do “conhecimento científico de referência”.

Estes três passos permitiram-nos, então, construir o conhecimento escolar a ser

ensinado. De seguida analisámos como esse conhecimento é conceptualizado na linguagem do dia-a-dia dos alunos.

Este processo permitiu-nos identificar as “necessidades de aprendizagem” e procurar definir estratégias ao encontro dessas necessidades e que foram operacionalizado numa planificação.

O trabalho entretanto realizado na implementação dessa planificação com a concomitante análise de erros, falhas e constrangimentos percebidos por nós, informou-nos na realização da planificação do segundo ciclo investigativo, cuja implementação e falhas percebidas serão também objeto de análise.

Análise dos constrangimentos impostos pelo tempo e UCs posteriores

O fator constrangimentos de tempo atribuído a todas as UCs de ciências físicas e da natureza pode ser identificado de imediato. Para todas as UCs de ciências físicas e da natureza, lecionadas na instituição de ensino superior onde decorreu o estudo, são atribuídos um total de 15 créditos, podendo nós ainda considerar mais 15 créditos para as didáticas específicas, onde tópicos das ciências físicas e da natureza são tratados. Podemos confrontar estes números com os 30 créditos atribuídos à Língua Portuguesa e igual número à Matemática bem como com a amplitude tanto sincrónica como diacrónica das áreas disciplinares envolvidas.

Defendemos que é muito difícil proporcionar uma formação generalista de educadores e professores do 1º e 2º CEB com tão reduzido número de horas atribuída às ciências físicas e da natureza. Esta nossa ideia, ainda assim, não é uma posição de impossibilidade de melhoria do processo de ensino-aprendizagem, mas uma afirmação da necessidade de um melhor ensino-aprendizagem com todas as condicionantes existentes e onde o nosso estudo se inseriu.

O constrangimento temporal também se encontra nas próprias indicações curriculares para o 1º CEB (Ministério da Educação e Ciência, 2013). À carga horária explícita de um mínimo de 3h/semana para o “Estudo do Meio” acresce uma condicionante implícita que aponta para que os professores diminuam este tempo devido à introdução de exames intermédios a Língua Portuguesa e a Matemática.

No que se refere ao constrangimento “unidades curriculares posteriores”, UC em que desenvolvemos a nossa atividade de investigação, estando no segundo semestre do 2º ano, não está condicionada de modo significativo por necessidades de aprendizagens em futuras UCs de ciências físicas e da natureza, a não ser pela mobilização, nas didáticas que se seguem, do conhecimento aí adquirido.

Constatar a existência de uma tradição

Três anos antes de iniciarmos o processo da nossa investigação, o plano de aulas que encontrámos e que adotámos com poucas mudanças até ao nosso primeiro ciclo investigativo está representado no Anexo B. Implementado ao longo de duas semanas em aulas teóricas e laboratoriais, este plano segue uma sequência de exposição que toma como garantido que os alunos realizam uma equivalência epistemológica entre o conhecimento intuitivo ou do dia-a-dia com o conhecimento formal.

Ora, isto está longe de ser verdadeiro (Elby, 2001; Hammer & Elby, 2002; Hammer, 1995; Kalman, 2009). Ao partir de situações do dia-a-dia para a introdução de conceitos, e o uso destes para explicar situações do dia-a-dia, quando não se prevê nenhuma discussão epistemológica sobre o conhecimento – tanto do conhecimento científico como do conhecimento do dia-a-dia–, este plano de ensino-aprendizagem coloca as explicações intuitivas no mesmo plano epistemológico das explicações formais, assumindo uma epistemologia individual do que é aprender ciência que muitos alunos não transportam para a sala de aula.

Outra crítica, já num outro nível de análise, prende-se com a introdução do conceito de “raio luminoso” não ser acompanhada de uma discussão sobre o seu significado (Viennot, Chauvet, Colin, & Rebmann, 2005). Para além das implicações conceituais referidas em Viennot et al. (ibid., p.17) existem considerações de ordem ontológica que necessitam de ser explicitadas (Vosniadou & Ioannides, 1998; Vosniadou et al., 2009). Vários autores reportam que os alunos associam ao “raio de luz” propriedades que pertencem à luz ou propriedades características de entidades físicas, desenvolvendo assim dificuldades interpretativas (Galili & Lavrik, 1998; Hirn & Viennot, 2000). Em particular, algumas destas dificuldades, vão depois implicar com aprendizagens no campo da Astronomia, como referem Galili et al. (1998), referindo-se à compreensão correta das causas das estações do ano. Ora, na nossa UC, a Astronomia e, em particular a compreensão das origens das estações do ano, segue-se ao ensino da ótica. Deste modo, torna-se necessário analisar melhor este assunto.

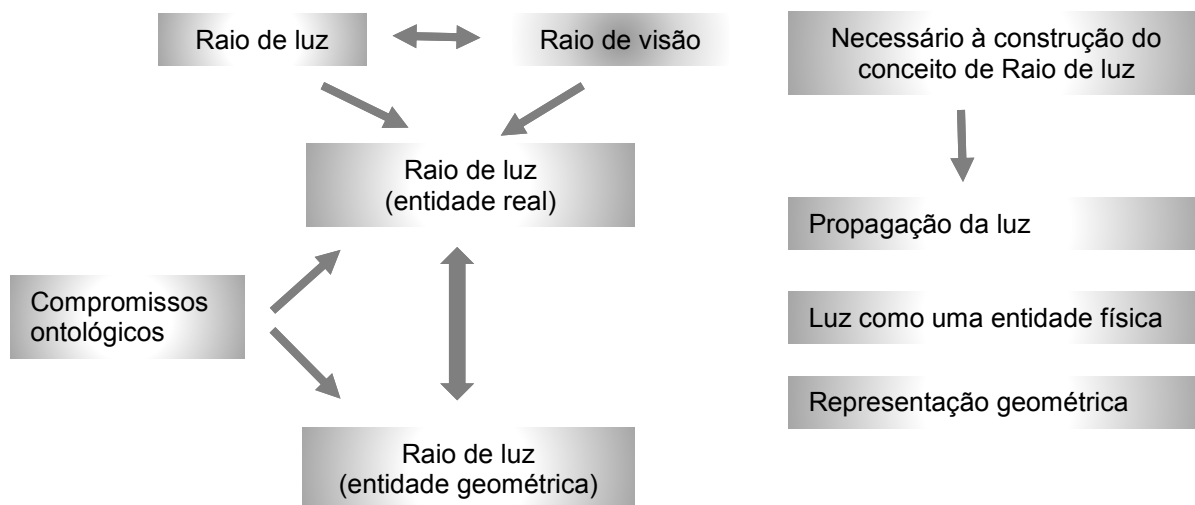


Figura 15. Evolução ontológica do “raio de luz” ou de “raio de visão” como nos informa a história da ótica.

Como vimos na nossa abordagem à história da luz, (cf. Apêndice C e Figura 15), o raio de luz sofre um conjunto de transformações do seu estatuto ontológico que, ou é trabalhado a par com a introdução do conceito, conforme exige, por exemplo, o modelo de mudança concetual de Vosniadou et al. (2009), ou dificilmente os alunos terão progressos significativos.

Na Figura 15 está representado essencialmente uma exposição diacrónica do conceito “raio de luz” ou “raio de visão”, mas durante o período da Revolução Científica do século XVII, ambas as posições ontológicas estavam presentes. Ora, o que vemos nos alunos é uma presença dessas duas posições.

Por exemplo, Colin, Chauvet e Viennot (2002) avançam com a hipótese dos alunos atribuírem uma “visão realista” ao esquema onde estão desenhados “raios de luz.” Assim, o problema da explicação das representações gráficas, apresentadas na investigação de Colin et al. (2002), não seriam das representações gráficas de per si (que são os objetos de investigação nesse estudo), mas sim de compromissos ontológicos diferentes dos sustentados pelos cientistas. Também Galili e Hazan (2000) defendem um “discussão intensiva do uso instrumental de raios de luz” de modo a desafiar concepções erradas originadas em “concepções erróneas de raios de luz.” (pp. 82-83)

Entretanto, em anos posteriores, deixou-se cair no processo de ensino-aprendizagem que íamos concretizando, a construção de imagens por lentes e espelhos usando o algoritmo da ótica geométrica. De acordo com a avaliação então realizada pelos docentes, vários fatores contribuíram para essa decisão: era uma aprendizagem

que não trazia ganhos para o conhecimento necessário ao exercício futuro da profissão; era um tópico considerado difícil pelos alunos e o tempo atribuído à UC havia diminuído.

Hoje, no entanto, pensamos que a construção geométrica de imagens usando os algoritmos habituais da ótica geométrica poderá ser um facilitador da compreensão do papel instrumental dos “raios de luz” e um *scaffold* para a compreensão da imagem como entidade formada ponto por ponto. Ainda que não tenhamos trabalhado este aspeto, consideramos que pode ser útil reconsiderar a construção geométrica de imagens por lentes e espelhos não como um conhecimento em si mesmo, como era o caso na altura em análise, mas como um passo para um maior entendimento, pela discussão e pela manipulação, dos “raios de luz”.

O trabalho de Colin et al. (2005) também levanta a questão epistemológica do conhecimento obtido pela representação geométrica. Uma interpretação literal das representações da ótica geométrica levam a um fracasso no processo de ensino aprendizagem. É no entanto muito fácil cair nesse tipo de interpretações se os alunos deixarem de olhar criticamente para a representação diagramática. Lembramos que muito tarde no desenvolvimento histórico da ótica, e da ciência em geral, é que as representações geométricas levam a conhecimento fiável do mundo. Claro que o uso de “raios de luz” ou de visão, que entraram na ótica desde Euclides e que dela nunca mais saíram, podem levar a defender o contrário, mas de facto estaríamos a avaliar os raios de visão de Euclides com os olhos de Kepler (Chen-Morris, 2009, 2013). Chen-Morris (2013), por exemplo, salienta:

A imaginação de Kepler sublinha a existência autónoma das entidades geométricas especialmente na sua relação com aplicações aos fenómenos naturais. Contudo, isto apenas acentua ainda mais a questão da sua fiabilidade epistemológica. No contexto Aristotélico do *De anima*, a imaginação é propensa a erros e à produção de falsas imagens. A qualidade da imaginação requer o controlo da faculdade de julgamento racional da alma. As imperfeições da imaginação significam que aqueles conceitos mentais, tais como entidades matemáticas, estão muito afastadas da realidade do mundo físico. (p.107)

Por fim, após analisarmos criticamente o problema em aberto desta planificação referente à epistemologia individual do aluno e à representação geométrica, adicionámos um outro elemento. A explicação do fenómeno da cor já é realizada após se falar da natureza dual da luz e da exposição das principais características de uma onda eletromagnética. Esta sequência, que abraçámos desde o início, levantou-nos fortes reservas em anos posteriores.

De facto, a explicação de Newton sobre a origem da cor como consequência da heterogeneidade da luz branca, por um lado, e da absorção seletiva da luz pelos corpos, por outro, ainda que repleta de deficiências, ao qual Newton não estava alheio (veja-se a sua explicação muito artificial da cor dos corpos opacos), é perfeitamente ajustada para introduzir os alunos neste assunto ao mesmo tempo que desenvolvemos importantes conceitos e processos, tais como: luz branca, luz composta e simples, análise da luz pelo prisma, obtenção do espectro (sem referência a ondas). Por outro lado, a própria introdução da natureza da luz levantou-nos sérias preocupações para o desenvolvimento das aprendizagens dos alunos. Galili et al. (2000) são claros na identificação da natureza da luz como um fator de complicação no processo de ensino-aprendizagem, o qual, ao ser removido, poderia facilitar esse processo. Como afirmam, “os parâmetros físicos associados com a luz, e.g., a sua velocidade, comprimento de onda, pressão e natureza discreta, estão todos muito afastados do domínio de percepção dos sentidos humanos, do domínio da experiência individual.” (p. 58)

No ensino-aprendizagem por nós desenvolvido, defendemos que no processo de transformação do conhecimento científico de referência para o conhecimento escolar a ser ensinado, e tendo em conta os fatores “prática profissional futura”, “constrangimentos de tempo” e “unidades curriculares posteriores”, a natureza da luz seja eliminada do conhecimento escolar. Como veremos, não tivemos esta percepção logo no 1º ciclo investigativo, mas as nossas leituras e reflexões, bem como o desenvolvimento do 1º ciclo de IA, levou à eliminação da natureza ondulatória da luz do processo de ensino-aprendizagem.

O conhecimento para a prática profissional futura

Na educação pré-escolar, e de acordo com as *Orientações Curriculares para a Educação Pré-Escolar* (Vasconcelos, 1997) o desenvolvimento curricular deve ter em conta as áreas de conteúdo “que constituem as referências gerais a considerar no planeamento e avaliação das situações e oportunidades de aprendizagem” (p. 14). Entre essas áreas de conteúdo figura a área de “conhecimento do mundo” que se enraíza, segundo Vasconcelos (1997):

na curiosidade natural da criança e no seu desejo de saber e compreender porquê. Curiosidade que é fomentada e alargada na educação pré-escolar através de oportunidades de contatar com novas situações que são simultaneamente ocasiões de descoberta e de exploração do mundo. (p. 79)

Deste modo, o trabalho do educador nesta área promove a exploração do mundo natural bem como dos objetos e fenómenos próximos das crianças. Luz, cor, espelhos, imagem ou sombras são possíveis de serem explorados e a sua exploração deve ser construída sobre o conhecimento das crianças de modo a promover aprendizagens relevantes (Cázares, Camacho, & Canales, 2008, 2009; Leung, 2008; Ravanis, 1999; Vasconcelos, 1997, p. 81).

Além destes assuntos relacionados com a ótica, outros como a energia (Koliopoulos, Christidou, Symidala, & Koutsiouba, 2009), magnetismo (Constantinou, Raftopoulos, Spanoudes, & Natsopoulos, 2013) decomposição e reciclagem (Ergazaki, Zogza, & Grekou, 2009), relação entre entidades geofísicas e superfície da Terra (Kampeza & Ravanis, 2009), equilíbrio mecânico (Hadzigeorgiou, 2002), biologia, em particular digestão (Cumming, 2003) ou ciclo de vida de borboletas (Samarapungavan, Mantzicopoulos, & Patrick, 2008), água (Leuchter, Saalbach, & Hardy, 2014; Tenenbaum, Rappolt-Schlichtmann, & Zanger, 2004), astronomia (Hannust & Kikas, 2007) entre outros, são tópicos das ciências físicas e da natureza que podem ser explorados de modo relevante com as crianças dos 3 aos 6 anos de idade.

Aliás, o princípio da continuidade educativa, continua Vasconcelos (1997), “como processo que parte do que as crianças já sabem e aprenderam, criando condições para o sucesso nas aprendizagens seguintes” (p. 14), implica que as crianças sejam logo, na educação pré-escolar, iniciadas em processos de ensino-aprendizagem (tendo em conta os seus conhecimentos) onde produtos e processos das ciências físicas e da natureza estejam presentes. Mais, como afirma Vasconcelos (1997)

Não se considerando [as diferentes áreas de conteúdo] como compartimentos estanques, acentua-se a importância de interligar as diferentes áreas de conteúdo e de as contextualizar num determinado ambiente educativo (...). Só este processo articulado permite atingir um outro objetivo que deverá atravessar toda a educação pré-escolar: despertar a curiosidade e o espírito crítico. (p. 22)

Pelo que, adianta Teresa Vasconcelos (ibid.), “este objetivo concretiza-se nas diferentes áreas de conteúdo que se articulam numa formação global, que será o fundamento do processo de educação ao longo da vida.” (p. 22)

Pensamos assim que o fundamento da “construção articulada do saber” (id., p. 14) em que assentam as Orientações Curriculares, i.e., “as diferentes áreas a contemplar não deverão ser vistas como compartimentos estanques, mas abordadas de uma forma globalizante e integrada” (ibid.), leva a que o educador considere as possibilidades educativas do conhecimento do mundo muito para além da construção de conhecimento substantivo e metodológico. A possibilidade que a expressão artística

(“expressão motora, expressão dramática, expressão plástica e expressão musical”) abre ao educador para o trabalho do conhecimento do mundo e as possibilidades deste para o trabalho da área das expressões é imensa (Arapaki & Koliopoulos, 2011; Koliopoulos & Arapaki, s.d.).

Já no 1º CEB, no 3º ano de escolaridade, no bloco “À Descoberta do Ambiente Natural” surge a necessidade do professor trabalhar alguns assuntos de ótica (Ministério da Educação e Ciência, 2004) (Figura 16) – ainda que possam e devam ser abordados ao longo do 1º CEB dependendo da avaliação que o professor faz do estado cognitivo dos alunos e da recriação do programa.

1. REALIZAR EXPERIÊNCIAS COM A LUZ

- Identificar fontes luminosas.
- Observar a passagem da luz através de objetos transparentes (lentes, prismas, água...).
- Observar a intersecção da luz pelos objetos opacos — sombras.
- Realizar jogos de luz e sombra e sombras chinesas.
- Observar e experimentar a reflexão da luz em superfícies polidas (espelhos...).

Figura 16. Indicação do programa para área de “Estudo do Meio” no 3º ano de escolaridade.

Segundo os princípios orientadores da organização curricular do “Estudo do Meio” (Ministério da Educação e Ciência, 2004), este é:

Apresentado como uma área para a qual concorrem conceitos e métodos de várias disciplinas científicas como a História, a Geografia, as Ciências da Natureza, a Etnografia, entre outras, procurando-se, assim, contribuir para a compreensão progressiva das inter-relações entre a Natureza e a Sociedade. Por outro lado, o Estudo do Meio está na intersecção de todas as outras áreas do programa, podendo ser motivo e motor para a aprendizagem nessas áreas. (pp. 101,102) (ênfase nossa)

As ciências da natureza, que aqui são apresentadas como uma “disciplina científica”, devem ser lidas, segundo entendemos, como o conjunto das ciências físicas e da natureza (Física, Química, Biologia, etc.).

Por fim, no 2º CEB, a luz e a cor são retomadas mas agora no âmbito da “Educação Visual e Tecnológica”, remetendo para um olhar da arte sobre estes assuntos (Ministério da Educação, 1991a, 1991b).

A organização curricular do 1º e 2º CEB em Portugal tem sofrido nos últimos anos alterações substanciais que não cabe aqui tratar. No entanto consideramos que as fontes documentais a que recorreremos, bem como o essencial da nossa abordagem à organização curricular na área das ciências físicas e da natureza mantêm a sua validade (Galvão, Reis, Freire, & Olivera, 2007).

O conhecimento científico de referência

A ótica ocupa um lugar na academia sob duas formas. Ou como disciplina separada, ou como parte do eletromagnetismo. Tanto quanto é do nosso conhecimento, a abordagem ondulatória aos fenômenos óticos, também conhecida por ótica física, adquiriu grande preponderância no ensino da ótica nas universidades: em geral, o tratamento da ótica geométrica é mais referenciado para cursos técnicos (Alonso & Finn, 1992; Born & Wolf, 1980; Collins & Viennot, 2001; Hecht, 1987; Resnick, Walker, & Halliday, 2007; Ronchi, 1991; Viennot, 2003).

O estudo da ótica ao longo de todo o século XX fundou-se na ótica geométrica, a qual podemos traçar a sua origem até à *Opticks* de Newton (veja-se a sequência do Livro I da *Opticks* e uma sequência de ensino mais tradicional em ótica geométrica (Born & Wolf, 1980) e na ótica física ou ondulatória (que para pequenos comprimentos de onda tem a ótica geométrica como campo de validade) que teve o seu batismo com os trabalhos de Thomas Young e onde Augustin-Jean Fresnel (1788 – 1827) e James Clerk Maxwell (1831 – 1879) – em conjunto com muitos outros – desempenharam papel relevante (Darrigol, 2012).

Como afirmaram Max Born e Emil Wolf (1980)

Os princípios físicos subjacentes aos fenômenos óticos com os quais estamos ocupados neste tratado foram, de modo substancial, formulados antes de 1900. Desde esse ano, a ótica, como o resto da física, sofreu uma completa revolução através da descoberta dos quanta de energia. Embora esta descoberta tenha afetado profundamente as nossas visões sobre a natureza da luz, não tornou teorias e técnicas antecedentes supérfluas; antes trouxe à luz do dia as suas limitações e o seu campo de validade. A extensão dos princípios e métodos antigos e suas aplicações a situações muito diversas continuou e continua com intensidade não diminuída. (ênfase nossa) (p. xi)

Por um lado, tanto a validade (social) como a importância académica dos princípios óticos formulados antes de 1900 são reafirmados em meados do século XX, altura em que foi escrita a 1ª edição dos *Princípios de Ótica* de Max Born e Emil Wolf. Por outro lado, em termos educacionais é importante considerar em primeiro lugar as abordagens mais simples de um fenómeno e só depois incorporar aspetos mais complexos num processo de *scaffolding*.

A ótica geométrica, apresentando-se como independente da natureza da luz, deve ser introduzida primeiro no processo de ensino-aprendizagem e aspetos da ótica física, como a natureza ondulatória da luz e grandezas características desta (comprimento de onda, frequência, velocidade, amplitude) ou a natureza discreta da luz e discussão do fóton (caraterísticas, energia, discretização) são elementos de

complicação que devem entrar *a posteriori*; eventualmente poderiam mesmo não entrar de todo no ensino obrigatório, mas não é esse o sentido das “reformas.”

Deste modo o conhecimento científico de referência, (Born & Wolf, 1980; Hecht, 1987), uma vez objeto de análise pode ser explicitado nos seus elementos (processo de elementarização) (Duit, 2007, p. 6) (Tabela 5) e sua categorização em tipos de conhecimento (Tabela 6).

Estamos agora em condições de explicitar o conhecimento escolar a ser ensinado. Salientamos que este “conhecimento escolar” foi definido para o primeiro ciclo investigativo. Como veremos adiante, houve alterações significativas para o segundo ciclo de investigação-ação:

Processo de visão: olho e sua anatomia, meio transparente, luz, propagação da luz, formação da imagem na retina, refração da luz;

Imagem e objeto: formação de imagens por lentes, espelhos e câmara obscura (*pinhole*);

Objetos opacos e translúcidos

Reflexão em objetos opacos espelhados e reflexão difusa.

Sombra e penumbra

Luz branca e dispersão da luz

Evidências, modelos: limites de validade.

Explicação de fenómenos óticos

Luz como uma onda, caracterização de uma onda, relação entre frequência e energia, evidências e fenómenos associados; espectro eletromagnético.

Obtenção de cor adicionando luz (síntese aditiva) e subtraindo luz (síntese subtrativa)

Tabela 5

Identificação do conhecimento científico de referência da ótica geométrica.

Conceitos	Processos	Instrumentos	Questões Epistêmicas ou ontológicas
Luz	Representação	Lentes	Modelos
Luz branca	Classificação	Espelhos	Imagem
Visão	Classificação de espelhos	Prismas	Representações esquemáticas
Olho	Classificação de lentes	Fontes de luz	Processos de criação de cor
Imagem	Classificação das imagens	LASER	Luz
Meio ótico	Produção de imagens	Redes de difração	Luz branca
Reflexão total	Síntese aditiva	Banca de ótica	Leis
Reflexão difusa	Síntese subtrativa	Luzes coloridas	
Reflexão espelhada	Arco-íris (formação)	Pigmentos	
Sombra	Miragens	Lupa	
Cor	Obtenção de espectros	Antenas	
Pigmento	Miopia	Recetores	
Dispersão	Hipermetropia (formação)	Ecrã	
Difração	Síntese da luz branca		
Comprimento de onda	Formação da imagem na retina		
Frequência	Anatomia do olho		
Amplitude			
Intensidade luminosa			
Fluxo de luz			

Tabela 6

Categorização dos conhecimentos pertencentes ao conhecimento escolar a ser ensinado de acordo com a sua pertença a tipos de conhecimento (Alexander et al., 1991; Jong & Ferguson-Hessler, 1996)

Conhecimentos /Tipologia	Cognitivo	Metacognitivo	
		Processual	Estratégico
Evidências, limites do conhecimento, validade		Discussão	Discussão
Evidências, limites do conhecimento, validade			
Luz como onda	Conhecer		
Espectro eletromagnético	Conhecer	Identificar usos; classificação	
Dispersão	Reconhecer a existência	Produzir o fenómeno	
Leis da Reflexão e Refração	Conhecer	Reconhecer a aplicabilidade	Contextos de uso
Processo de visão	Anatomia do olho	Construção da imagem na retina	Interdisciplinaridade
Luz		Representar a sua propagação	Discussão ontológica
Lente, espelho, prisma, câmara obscura	Identificar e reconhecer	Conhecer o manuseamento	Contextos de uso
Imagem	Identificar	Formação	Separar a imagem do objeto
Objetos opacos e translúcidos	Conhecer a existência	Classificação	
Sombra e penumbra	Reconhecer	Formação	
Luz branca	Reconhecer a existência	Análise prismática	Discussão sobre o que é
Hipermetropia e Miopia	Reconhecer	Saber explicar	

4.7.2 Identificação da concetualização do conhecimento escolar na linguagem do dia-a-dia

De acordo com a abordagem de John Leach e Phil Scott (2002) que temos vindo a adotar (Figura 13), a identificação das necessidades de aprendizagem resulta da investigação de como o conhecimento escolar a ser ensinado é conceptualizado na

linguagem do dia-a-dia dos alunos bem como de uma avaliação das diferenças entre essa apropriação e os objetivos didáticos que identificámos.

Ora, possuímos neste momento, uma vasta literatura sobre concepções alternativas em ótica, e, em particular, sobre ótica geométrica. É essa literatura e o que ela nos permite inferir, que nos informa sobre a concetualização do conhecimento escolar, no dia-a-dia, pelos alunos. Claro que neste processo estamos a realizar uma inferência, a qual, no entanto, tem forte suporte na investigação, a saber, que as concepções prévias são em grande medida transversais a várias culturas e países.

Como é óbvio, isto não significa que nos abstivemos de fazer o nosso próprio levantamento das concepções prévias detidas pelos nossos alunos. No entanto, o tempo entre a recolha dos dados que nos informaram sobre essas concepções, o seu tratamento e análise, ocupar-nos-ia todo o tempo de ensino-aprendizagem, pois a recolha de dados foi realizada na primeira aula. Pensamos assim que a nossa opção de guardar a informação recolhida para nos ajudar na informação do segundo ciclo investigativo e utilizar a literatura relevante para uma informação sobre as concepções prévias no domínio disciplinar da ótica geométrica foi uma escolha apropriada no quadro dos constrangimentos do nosso estudo.

No sentido de proceder à análise das explicações articuladas pelos alunos em relação à luz, visão, imagem, sombra, cor, e em geral a todos os tópicos identificados por nós como conhecimento escolar, usámos a ferramenta teórica dos “esquemas do conhecimento” (Galili & Hazan, 2000; Galili & Kaplan, 1996b; Galili & Lavrik, 1998). Apesar de já a termos abordado mais desenvolvidamente no capítulo de metodologia, relembramos os aspetos essenciais.

Para Galili et al. (1996b), as explicações dos alunos numa determinada área do conhecimento podem ser organizadas em alguns, poucos, esquemas operacionais. Conforme adiantam, “estes esquemas podem não representar o sistema cognitivo dos alunos, mas podemos usa-los como se o fossem de modo a obter uma descrição completa e sucinta do pensamento dos alunos.” (p. 475) Em trabalhos posteriores, e.g. Galili et al. (2000; 1998), desenvolvem uma fundamentação teórica para o uso destes esquemas na abordagem instrucional construída desde 1987 por Jim Minstrell e que já abordámos na revisão da literatura (Minstrell, 1992, 2001; Zee & Minstrell, 1997). Conforme salientámos então, não vamos considerar o fundamento teórico dos aspetos do conhecimento e dos esquemas do conhecimento e das suas relações, mas vamos usar esta abordagem como um instrumento heurístico de organização e análise dos dados.

De acordo com Galili et al. (1998) o conhecimento dos alunos em ótica pode ser organizado nos seguintes esquemas (cf. Anexo A, Tabela 9):

- A – Esquema da visão espontânea (ver acontece naturalmente como resultado da presença do olho.)
- B – Esquema corpóreo da luz (luz é reificada.)
- C – Esquema da luz-lanterna (raios individuais são emitidos de cada ponto da fonte de luz.)
- D – Esquema holístico da imagem (uma imagem é uma réplica corpórea de um objeto. Pode-se mover, manter-se no mesmo lugar ou rodar.)
- E – Esquema da Imagem projetada (cada ponto-imagem está relacionada com o seu correspondente ponto-objeto por um único raio de luz.)
- F – Esquema Sombra como imagem (A sombra é uma espécie de imagem separada do objeto.)
- G – Esquema Sombra e envolvimento (A sombra depende do ambiente envolvente.)³³
- H – Esquema Cor-pigmento (A luz tem pouca ou nenhuma relação com a cor.)

Ana Esgalhado e José Rebordão (1987) são os únicos autores a investigar concepções alternativas de ótica detidas por alunos portugueses que constam da bibliografia publicada por Helga Pfundt e Reinders Duit (1994) de literatura sobre concepções alternativas³⁴. De acordo com Esgalhado e Rebordão (1987), que analisam as concepções de 103 alunos entre os 13 e os 17 anos de 4 turmas de uma escola secundária, a luz serve primeiramente para aquecer, depois para iluminar e só depois para ver. Os alunos mostraram uma adesão significativa ao modelo aristotélico (a fonte de luz ilumina o objeto, e dos olhos saem “raios de visão”), com 39%, e a um modelo misto (onde entre o objeto e o olho há trocas nos dois sentidos que também existem entre a fonte de luz e o olho), com 21%.

Anderson e Smith (1986) investigaram as concepções de 227 alunos do 5º ano de escolaridade de uma escola suburbana nos EUA durante um período de dois anos, usando teste de diagnóstico antes e após instrução e 11 entrevistas clínicas. Os resultados obtidos evidenciam que muitos alunos (77%) concebem a luz como uma entidade que faz a sala ficar iluminada, ou seja, que preenche o espaço, o que é

³³ No nosso trabalho transpusemos e usámos a abordagem aspeto-esquema amplamente usada por Galili e colaboradores para a organização dos dados (nossos e da literatura) quase de modo literal. No entanto há certas designações de aspetos do conhecimento ou esquemas do conhecimento que não são adequadas a uma tradução literal e que foi necessário adaptar à nossa língua. Por exemplo o esquema *Shadow Associative* foi nomeado “Sombra e envolvimento”. Sempre que a abordagem de Galili et al. sofrer modificações, referenciamo-la no nosso trabalho.

³⁴ A nossa investigação sobre o conhecimento alternativo detido pelos alunos antes da instrução foi realizado procurando trabalhos em revistas com *referee* e em atas de conferências a que tivemos acesso. A compilação realizada por Helga Pfundt e Reinders Duit (bilingue, alemão - inglês) foi descoberta já no final do nosso trabalho mas foi de grande utilidade pois permitiu ver que havíamos realizado a análise de parte substancial da literatura sobre o assunto.

parcialmente correto, mas apenas 19% escolheram a resposta correta à questão colocada – “uma rapariga numa sala escura acende uma lâmpada. O que acontece então?” – Que era a opção “a luz continua sempre a sair da lâmpada e a ser refletida pelas coisas.” De acordo com Anderson et al. (1986), também sustentado por um estudo de 1981 de Edith Guesne e que encontramos publicado em Guesne (1985), ainda que alguns alunos vejam a luz como estando presente no espaço entre a fonte e os objetos, a noção de movimento, de luz como existindo em movimento, está muitas vezes ausente, o que reforça a presença do esquema corpóreo de luz (Esquema B).

Adicionalmente, e ainda no trabalho de Anderson et al. (1986), muitos alunos não consideram a reflexão por objetos opacos e não espelhados como relevante para a visão, sendo residual (2% a 9%) o número dos que dão importância a este processo para o ato de ver. Mais, outros alunos (53%) consideram apenas que a luz brilha sobre (*shines on*) ou aclara (*brightens*) os objetos que eles vêm, não considerando a reflexão da luz por esses objetos.

No estudo de Anderson e Smith (1986), os alunos não têm noção de que a luz branca é uma luz composta e mais de 80% dos alunos têm concepções que associamos ao esquema cor-pigmento (Esquema H), resultado que também é sustentado na investigação que Edith Guesne (1985) realizou sobre alunos do ensino secundário e no estudo de Chauvet (1996) realizado sobre concepções prévias de *Techniciens Supérieurs* de Artes Aplicadas em França. Nesta investigação, apenas 3% foram capazes de fornecer a resposta correta à questão de saber de que cor resultaria se luz vermelha e luz verde fossem adicionadas, sendo que as alternativas apresentadas eram branco, castanho, verde, vermelho e amarelo. Metade dos alunos escolheram castanho, indicando uma forte influência da mistura de tintas.

Bjorn Andersson e Christina Karrqvist (1983), investigando a concepção de alunos suecos do 6º (124 alunos), 7º (205 alunos), 8º (136 alunos) e 9º (166 alunos) anos (na altura em que os autores desenvolveram a investigação era principalmente no 8º ano, com 14 anos de idade, que os alunos eram introduzidos à ótica geométrica), verificaram que não mais do que 30% dos alunos do 9º ano aplicam aquilo que Andersson et al. (ibid.) chamam de ideia chave da ótica, i.e., “a luz existe e propaga-se no espaço” (p. 389)³⁵. Os autores reportam que a ideia de “raio visual”, usado pelos alunos em explicações concretas, não é um recurso temporário, passageiro, a que recorrem como auxiliar para explicar um problema mas que abandonam em outra situação. De facto, 19% dos alunos do 9º ano, i.e., após instrução em ótica, utilizam o conceito de “raio visual”, enquanto

³⁵ Andersson et al. (1983) enfatizam que os livros de texto e os professores têm esta ideia como estando no quadro das concepções dos alunos pré-instrução. Ao identificar a ideia referida como ideia chave, afirmam que se não se partisse desta ideia, o curso teria de mudar.

23% não especificam direção e apenas 7% utilizam a direção de propagação da luz correta (do conjunto de alunos que utilizam a refração para explicar um problema, os outros não foram considerados.)

Quanto à cor, de forma consistente, do 7º ao 9º ano, ou seja, antes, durante e após a instrução sobre cor, 10% dos alunos usam a teoria da modificação da luz como explicação para o surgimento de uma luz colorida num ecrã, o que, aliás, iguala a percentagem dos que, no 9º ano, utilizam a explicação correta³⁶. De qualquer dos modos grande parte dos alunos não atribui à luz em si o surgimento de cor, pois parecem não terem a noção de luz branca como luz composta e, conseqüentemente, da dispersão da luz.

Já Bendall et al. (1993) usaram entrevistas clínicas para perceber as concepções de professores em formação para o primeiro ciclo, tendo muito poucos desses professores em formação, frequentado física no ensino secundário. O estudo foi dividido em duas fases, com 20 alunos na primeira e 10 alunos na segunda fase. “Poucos, se algum dos alunos neste estudo, têm uma concepção mecânica da luz” afirmam os autores (id., p. 1179). A concetualização de que a luz se propaga é de facto difícil pois a sua velocidade é impercetível aos nossos sentidos. Deste modo, em geral têm uma concepção de que a luz existe no espaço remetendo para o que os autores denominam de concepção estática e que já encontrámos atrás.

Foram também encontradas evidências de que os alunos concebem a luz saindo de cada ponto da fonte de luz apenas numa única direção privilegiada, não adotando a concepção de Alhazen de que cada ponto de uma fonte de luz emite luz em todas as direções. Em raciocínios envolvendo diagramas, alguns alunos atribuem vários significados a um mesmo símbolo, ao contrário do que acontece em ciência. No que concerne às sombras, existiu a tendência para raciocinar em termos de presença ou ausência de sombra em lugar de presença ou ausência de luz o que revela a concepção de sombra como uma “coisa”, quando de facto é uma ausência. Além do mais, apenas 25% dos alunos que realizaram representações diagramáticas para explicar a formação das sombras, fizeram-no corretamente, enquanto os restantes consideraram as duas fontes globalmente, não conseguindo realizar então uma representação da penumbra.

Os alunos mostraram uma tendência, ainda no estudo de Bendall et al. (1993), e no âmbito da discussão da formação de imagens em espelhos, para separar o

³⁶ É muito interessante a forma como estes autores usam a HC para iluminarem as concepções dos alunos. Aliás, nas notas finais, afirmam mesmo que “devíamos voltar a usar uma linguagem similar aquela de Newton” (p. 401) referindo-se à explicação de Newton que não são os “raios de luz” que são vermelhos ou amarelos, etc., mas sim que são suscetíveis de provocar sensações de vermelho ou de amarelo etc., separando assim a luz como entidade física e a percepção da luz.

processo em criação da imagem e da sua observação. Apenas 50% dos respondentes, referiram a luz como necessária para a criação da imagem, mas não foram capazes de explicitar o processo. Um processo que entretanto foi evidenciado foi a formação holística da imagem, como se houvesse um transporte do objeto para o espelho (eventualmente pela luz). Por seu lado, no processo de observação, os alunos tenderam neste estudo de Bendall et al.(1993) a afirmar que nada se passa, atribuindo aos olhos e à luz um papel passivo. Mesmo os que consideram a luz importante para a imagem, vários desses alunos referem-se à luz ambiente como suficiente para observar a imagem.

Robert Bouwens (1987) investigou concepções de 639 alunos holandeses em cinco escolas, frequentando diferentes anos de escolaridade e com diferentes percursos do ensino secundário, nomeadamente, os alunos entre 15 e 18 anos (378), dividem-se no estudo de Bouwens (ibid.) em 191 alunos no ensino secundário pré-universitário e igual número no ensino secundário geral: 14/15 anos (56 alunos), 15/18 anos (382 alunos) e 15/17 anos (201 alunos). A maioria dos alunos (58%) concordam que a luz atinge distâncias maiores se a fonte for mais intensa. Muitos alunos (87%), estão conscientes de que a luz existe no espaço entre a fonte e os objetos, no entanto, analisando o item “dinâmica da luz” (p. 74) parece-nos que existe uma forte presença de uma concepção estática. São reportadas também dificuldades na articulação da explicação de sombras com a propagação retilínea da luz e confusão entre luz difundida (e.g., pelas nuvens) e ausência de retilinearidade na propagação.

Bouwens (ibid.) identificou três grandes áreas onde as concepções alternativas têm mais influência: visão, nomeadamente a falta de perceção de que é necessário que a luz entre nos olhos para vermos; interação da luz com superfícies e em particular a diferença entre reflexão espelhada e difusa bem como entendimento da consequência dessas diferenças³⁷ e, finalmente, formação de imagens. Por fim, encontramos novamente o recurso por parte dos alunos a explicações pouco consistentes e que parecem ser a situação-problema a desencadear, situação que já encontrámos em Andersson et al. (1983).

Esta falta de coerência, de sistematização e explicações muito dependentes das situações-problema, vamos de novo encontrar no estudo que Nancy Brickhouse (1994)³⁸ desenvolveu durante duas semanas, com 30 alunos do 3º ano (8/9 anos)

³⁷ Na nossa construção da sequência de ensino-aprendizagem, esta falta de clarificação entre reflexão espelhada e difusa não era conhecida na altura. Por vezes, na leitura dos trabalhos de investigação, há análises que nos parecem mais laterais e às quais só damos importância *a posteriori*.

³⁸ Este estudo desenvolve alguns argumentos que nos parecem muito sugestivos relativamente à relação entre a experiência do aluno fora da sala de aula e influência nas atividades em sala

quando aprendiam sobre luz e sombras. Estas, as sombras, eram reificadas e não conceptualizadas como ausência de luz. O estudo de Nancy Brickhouse (ibid.) ainda que no essencial reafirme aspetos já evidenciados noutros estudos sobre concepções alternativas parece-nos muito relevante como um exemplo de ensino-aprendizagem de luz e ótica com crianças do 3º ano de escolaridade.

A construção e leitura de esquemas está muito presente no ensino-aprendizagem de ótica geométrica. No sentido de identificar dificuldades dos alunos e como os professores desses alunos interpretam essas dificuldades, Colin et al. (2002) desenvolveram um estudo em França envolvendo 4 grupos de alunos do 10º e 12º anos que não passaram previamente pelo ensino-aprendizagem de ótica, e outros 4 grupos de alunos do 12º ano que já haviam passado por esse processo. Cada grupo, com 15 ou 17 alunos, dirigem-se a quatro representações gráficas diferentes. Um total de 75 professores foram também submetidos a quatro questionários diferentes. Os autores estimam que dois terços dos alunos leem o gráfico de uma das questões (reflexão difusa) de modo realista, reificando o “raio de luz”. Um outro grupo foi colocado perante um documento onde era realizada a formação geométrica de uma imagem de um objeto numa tela. Quase todos os alunos interpretaram os “raios de luz” literalmente como realizando o transporte da imagem (no seu todo) do objeto para o ecrã. Num outro documento onde se pede a interpretação do tradicional esquema representando a síntese aditiva e subtrativa (ver nosso texto de apoio sobre cor), o facto de os esquemas serem semelhantes levou a que aspetos fundamentais, como a construção experimental subjacente ser radicalmente diferente, ficasse em segundo plano. Quando o olhar dos professores foi investigado, Colin et al. (ibid.) notam que há pouca perceção do problema da interpretação realista dos esquemas. Ou seja, muitos professores neste estudo têm eles próprios uma posição realista e os autores do estudo são particularmente críticos sobre o conhecimento que os professores mostram sobre a cor, notando que um treino substancial em torno deste tópico é necessário se pretendemos observar mudanças significativas (pp. 326-327).

Num conjunto de estudos desenvolvidos num centro de ciência nos EUA com atividades desenhadas e entrevistas individuais, Elsa Feher e Karen Rice Meyer³⁹ investigaram as concepções de crianças sobre luz, cor, imagem e sombra e sobre como eles articulavam as suas explicações (Feher & Meyer, 1992; Feher & Rice, 1988; Rice & Feher, 1987). Feher e Meyer (1992) investigaram concepções de 32 crianças dos 8 aos

de aula (nestas idades, 8/9 anos) e relação com a compreensão de fenómenos óticos.

³⁹ Durante esta investigação deparámo-nos com uma aparente referência a três autoras, quando na realidade se tratava de duas, pois Meyer é o nome de casada de Karen pelo que em muitas referências surge Rice em lugar de Meyer.

13 anos. No que respeita à cor, as concepções distribuíam-se do seguinte modo: a luz colorida não tem efeito na cor do objeto (6%); a luz colorida é escura o que irá fazer o objeto aparecer como mais escuro (19%) (Esta resposta foi dada por quem previa roxo para a cor do objeto verde sob luz vermelha ou do objeto vermelho sob luz verde. A seguinte graduação surgiu: preto, roxo, verde, vermelho, amarelo, branco. Não houve referências significativas ao cinzento); a cor da luz mistura-se com a cor do objeto (47%) (Quem deu esta resposta realizava a previsão de que a cor resultante da mistura da cor da luz com o objeto dava uma nova cor muito à semelhança da mistura de pigmentos); a luz colorida dá a sua cor ao objeto (12%).

Quando Feher e Meyer (ibid.) investigaram a explicação de sombras coloridas depararam-se com a concepção de que a luz colorida, quando comparada com a luz branca adquire propriedades ou qualidades especiais: é ativa, contém cor, é escura. Com duas fontes de luz coloridas, os 12 alunos que previram sombras coloridas foram os mesmos que tinham a ideia que a sombra era colorida e persistiram na ideia. Mais uma vez reencontramos a concepção da sombra como um objeto com uma existência própria. Quanto ao mecanismo de formação de sombras, as investigadoras identificaram os seguintes três esquemas explicativos: a luz é bloqueada pelo objeto (26%); a luz é refletida do objeto para o ecrã (26%); o objeto emite uma sombra (48%). Note-se a abundância deste último esquema.

Numa investigação envolvendo 110 alunos entre 9 e 13 anos no mesmo centro de ciência, Rice e Feher (1987), tendo como objetivo a explicação da forma da imagem se a abertura de um obstáculo é larga comparada com a fonte ou uma *pinhole*, 44 alunos fizeram diagramas. Desses que realizaram diagramas, se a abertura é circular a luz passa pela abertura e não se espalha (40%), ou então espalha-se num cone (18%). Outros percursos tiveram 42% de respostas. Para explicar a imagem de um objeto em forma de cruz por um *pinhole*, as investigadoras chegaram aos seguintes esquemas explicativos: papel ativo do orifício (20%), ou passivo (40%), ou ainda reformulação de concepções anteriores (26%) (e.g., “Porque a luz é uma cruz.”) Por outro lado, o modelo holístico é prevalente: a imagem viaja como um todo da fonte para o ecrã, e não está presente a ideia de que uma fonte de luz emite, em cada ponto, luz em todas as direções.

Estudando as ideias prévias sobre formação de sombras em 40 crianças dos 9 aos 14 anos, Feher e Rice (1988) chegaram às seguintes categorias explicativas: a luz é bloqueada ou redirecionada (27%); luz atua sobre o objeto, e.g. “luz brilha sobre ti e a tua sombra vai para o chão” (45%). Quando perguntados se existe sombra no escuro, 45% dizem que sim mas não podem vê-la, e 15% “não sabe” mas adiantam que é possível. Apenas 25% das crianças tinham a concepção correta do que é a sombra,

sendo que a maioria falava da sombra como se fosse a presença de alguma coisa com características físicas, existindo também uma forte relação de pertença da sombra ao objeto.

Num estudo reportando concepções prévias de alunos que frequentavam o 8º, 9º, 10º e 11º ano de uma escola secundária na Austrália, Fetherstonhaugh et al. (1987) usaram questionários semiestruturados. Os alunos, do 8º ao 10º ano, constituíam uma amostra aleatória representativos da escola, mas os alunos do 11º ano frequentavam duas turmas que tinham física no seu plano curricular, não podendo ser considerados representativas da escola. Um número significativo de respostas reportam que a concepção de que a luz não se propaga, está estacionária, é sustentado por 19% e 29% dos alunos do 8º e 10º ano respetivamente: os alunos de outros anos têm valores inferiores a 10% neste item. Talvez seja de salientar que 7% dos alunos que estavam a frequentar aulas de física na altura sustentavam esta posição estática da luz. Também a ideia de que luz proveniente de fontes de luz mais intensas vão mais longe do que luz de fontes de luz menos intensas é também uma concepção abundante, com 30% (8º ano), 34% (9º ano), 21% (10º ano) e 9% (11º ano). Um número muito significativo dos alunos não conseguiu interpretar as imagens nos espelhos, sustentando mesmo que as imagens existem nos espelhos (37% dos alunos do 11º ano, que, recordamos, estavam a frequentar física.)

Esta situação, de prevalência de concepções alternativas que parecem estar sustentadas em crenças ontológicas mais fundas e que reforça estudos anteriores relaciona-se muito, segundo a nossa interpretação, com o facto de os professores e os livros de texto tomarem como dado de aprendizagem já realizada, conceptualizações fundamentais, ou ideias chave, conforme lhes chamaram Andersson e Karrqvist (1983) e de essas ideias-chave não terem sido trabalhadas e discutidas com a profundidade necessária em momento algum da aprendizagem formal. Aliás, este comentário é também suportado pelos próprios autores (Fetherstonhaugh et al., 1987).

As concepções de formação de imagens defendidas por professores do ensino elementar em formação, foram investigadas por Dave Heywood (2005) que explorou as concepções de 55 futuros professores do ensino elementar em Inglaterra, essencialmente cobrindo o mesmo tipo de participantes que a nossa investigação, e por Galili et al. (1993) que exploraram as concepções de professores em formação em Israel. Como afirmam estes autores:

Os diagramas de raios de luz fornecem um meio poderoso para descrever e explicar a formação de imagens em ótica geométrica, todavia a investigação tem mostrado que estudantes de física, após instrução, exibem dificuldades no uso de diagramas para

indicar previsões e para explicar fenômenos observados envolvendo mesmo simples sistemas óticos, consistindo de uma lente convergente e espelhos planos. As dificuldades dos alunos parecem ser sintomáticas de uma compreensão formal incompleta tanto do processo de formação de imagem como da representação por diagramas. (p. 271)

Na investigação de Galili et al. (ibid.) estiveram envolvidos 27 formandos (professores do ensino elementar em formação) a maioria dos quais com pouca formação científica. A investigação envolveu tarefas desenhadas e entrevistas individuais. Quando colocados perante o problema da formação de uma imagem de um objeto numa tela por uma lente convergente, apenas 8 dos 27 alunos realizaram o esquema explicativo correto, enquanto 14 pareceram aderir à conceção da imagem como uma réplica do objeto que sai deste como um todo e que a lente inverte. No entanto, na entrevista de *follow-up* 6 dos alunos juntaram-se aos 8 iniciais que desenvolviam a explicação correta.

Relativamente à formação de imagem por um espelho plano, apenas 4 professores em formação representaram um diagrama com alguma aproximação à descrição cientificamente aceite, mas falharam ao descreverem apenas um “raio de luz” a sair do objeto e a ser refletido pelo espelho em direção ao olho. A posição da imagem foi determinada pela regra decorada em sala de aula: mesma distância ao espelho que o objeto. Mais, 12 alunos não respeitaram a lei da reflexão. Também na tarefa em que os alunos deveriam representar a imagem formada por um espelho côncavo, a representação de apenas um “raio de luz” a sair de um ponto da fonte de luz, faz com que os alunos não consigam realizar a tarefa com êxito.

Galili et al. (ibid.) discutem então os motivos que levam à construção de esquemas com um “raio de luz” a sair numa direção privilegiada. Segundo os investigadores apuraram, a maioria dos formandos sabia que de cada ponto de uma fonte de luz, esta sai em todas as direções. Assim, é o próprio processo de aplicação do conhecimento à situação-problema que parece levar a descartar uma posição correta.

Segundo o estudo, alguns formandos foram motivados por fatores geométricos (mais de 40% nas diversas tarefas), ou motivados pelas leis da ótica ou situações análogas (entre 11% a 24%). Estes dados e a sua exploração sugeriram aos autores uma interpretação segundo a qual, subjacente a estas construções, está a conceção da imagem como uma entidade holística e da sua formação como resultando de um transporte pelos “raios de luz” ou processo análogo.

Galili e Hazan (2000) investigaram conceções prévias de ótica de alunos de Israel do 9º ano (estes alunos têm Física no currículo no ano seguinte) e de futuros professores de tecnologia em formação. Os alunos, antes de instrução, aos quais foi

realizado o levantamento de concepções consistiam em 64 alunos de três escolas diferentes. Após instrução foram inspecionadas as concepções de 102 alunos do 10º ano mais uma classe de professores de tecnologia em formação. A concepção de que a luz pode ser vista de lado foi defendida por 50% dos estudantes, sendo que a instrução não alterou estes dados. Idênticos valores e evolução da aprendizagem teve a ideia de que a luz é brilhante, logo é melhor vista no escuro. Por outro lado, a ideia de que a luz permanece numa espécie de auréola em torno da fonte foi sustentada por 75% dos alunos, sendo que a instrução teve aqui um efeito positivo significativo. Também fortemente sustentada foi a concepção da luz como sendo constituída por um grande número (talvez infinito) de raios de luz que preenchem o espaço (68%) com 58% a defenderem a mesma concepção após a instrução.

A indicação que de cada ponto de uma fonte a luz, esta se propaga radialmente numa única direção privilegiada, é defendido por 37% dos alunos e, em lugar de diminuir, aumentou com a instrução.

No estudo da cor, 58% dos alunos afirmou que a cor resulta de uma mistura de substâncias especiais diferentes de luz, concepção que não sofre evolução com a instrução, enquanto 59% disseram que uma mistura de luzes coloridas resulta numa luz mais escura, numa analogia com mistura de pigmentos.

Esta investigação veio reforçar a ideia segundo a qual as concepções que temos vindo a reportar em vários estudos realizados em vários países com alunos de diversas idades são coerentes e se reforçam mutuamente. É particularmente interessante notar a persistência de ausência de ideias chave da ótica em alunos a acabar o secundário e, de modo explícito, em vários professores. Um outro interesse destes estudos reside no facto de mostrar o quanto as concepções alternativas são resistentes à mudança. Mas mais uma vez, e de acordo com Andersson e Karrqvist (1983) mas também com Galili e Hazan (2000, p. 79) é necessário explicitar o que parece óbvio em ótica; é necessário explicitar as ideias chave ou, avaliando a instrução da visão, como Galili et al. (ibid.) afirmam, “o ensino da ótica toma muitas vezes como garantido o facto essencial de que a luz tem de entrar no olho para a visão ter lugar. *A necessidade de convencer o aluno disto raramente é reconhecida*” (p. 79) (sublinhado nosso).

Neste domínio da discussão curricular, e das causas subjacentes a este estado de coisas, Galili e Lavrik (1998) realizam uma discussão interessante sobre a evolução histórica da ótica, nomeadamente o surgimento da fotometria e da introdução do fluxo de luz na ciência e no ensino como substituindo, em níveis mais avançados (e sublinhamos este aspeto) e com vantagem, o raio de luz e, posteriormente, o seu progressivo abandono. Mas este será um aspeto ao qual iremos dar outra atenção mais à frente no presente trabalho.

Uma outra investigação que estudou concepções sobre a formação de imagens reais por lentes e espelhos côncavos foi realizada por Fred Goldberg e Lillian McDermott (1987) nos EUA. O estudo decorreu durante dois anos e envolveu cerca de 80 alunos de cursos introdutórios e de física da Universidade de Washington. O investigador realizava um conjunto de tarefas, não sem antes pedir ao aluno que realizasse previsões e depois as explicasse; por vezes o investigador necessitava de esclarecer o que era dito ou representado pelo que a entrevista prosseguia. A primeira tarefa era a formação de imagem numa tela por uma lente convergente. O aluno era questionado sobre o que acontecia se a lente fosse retirada e, noutra situação, se fosse parcialmente tapada.

Antes da instrução, 60% dos alunos afirmavam que a imagem passava a ficar direita se a lente fosse retirada, número que passou a 40% após a instrução. Os que responderam corretamente (não havia imagem) apenas chegou aos 50% com a instrução. Por outro lado, se metade da lente fosse tapada, 95% dos alunos consideravam que metade da imagem desaparecia, número que passou para 55% após a instrução.

Parte do motivo que levou à manutenção de uma grande abundância de alunos, mais de metade, que afirmavam que metade da imagem desaparecia relaciona-se com o que vimos acima no trabalho de Colins et al. (2002) sobre a representação diagramática. Do seu trabalho, Goldberg et al. (ibid.) propõem que o professor deve proporcionar um conjunto de atividades que tragam ao de cima concepções que a investigação revela existirem no aluno mas que estão latentes. Mais, como parte muito importante das concepções são partilhadas pela maioria dos estudantes, estas atividades podem ser desenvolvidas em grande grupo.

La Rosa et al. (1984) investigaram as concepções sobre luz de 63 alunos italianos do ensino secundário (16-17 anos) que não participaram em nenhum curso de ótica. Após uma análise teórica e empírica organizaram os dados em quatro esquemas explicativos (EE): (Esquema Explicativo A) [EE_A]:

A luz é uma propriedade do espaço que permite a visão. É uma situação estática no sentido de que a luz está presente por todo o lado quando temos uma fonte de luz. O termo propagação é usado não com o seu significado dinâmico, mas refere a uma analogia com uma estrada que 'vai' de um lugar a outro (p. 393)

A cor é considerada uma propriedade dos objetos, que pode não ser detetada se a intensidade luminosa for de baixa intensidade. Outra propriedade que os objetos têm neste esquema é a capacidade de refletir outros objetos; o espelho tem esta propriedade para a luz. A luz neste esquema é a *lux* dos antigos gregos (i.e., brilho, claridade, branco).

Já o EE_B é uma variação do esquema anterior, mas a separação da zona de luz e de sombra observado num ecrã é descrita por “raios de luz” retilíneos. Para explicar a variação da intensidade de luz, considera-se neste esquema que esses “raios de luz” são desviados quando passam por um orifício de tal modo que produzem um feixe cónico crescente. O EE_C, por seu lado, é uma outra variação do EE_A, pois neste esquema explicativo a luz e a visão são vistos como dois fenómenos completamente separados. No entanto, agora, a diferença entre a zona de luz e de sombra é explicado pela geometria euclidiana com completa retilinearidade das linhas de separação. Por fim, o EE_D corresponde à explicação cientificamente aceite.

Da investigação realizada por La Rosa et al. (ibid.), os alunos que pertenciam ao EE_A eram 10, ao EE_B, 20 e ao EE_C 25. Nos EE A, B e C a luz tem a faculdade de revelar a propriedade dos objetos. La Rosa et al. (ibid., p. 397) afirmam que é importante “não subestimar o aspeto da abstração que está presente na ótica geométrica como em qualquer outra teoria científica, não apenas no que se relaciona com a experiência do dia-a-dia mas também em situações de laboratório”. Até porque, conforme afirmam os autores, na situação de laboratório, “o ‘ruído de fundo’ de efeitos que teoricamente são negligíveis mas difíceis de eliminar na prática, pode dar origem a resultados experimentais de acordo com a teoria apresentada pelo professor, mas também com as teorias sustentadas pelos estudantes.” (id., ibid.)

Num outro estudo, Dorothy Langley et al. (1997) investigaram as conceções prévias de 139 alunos do 10º ano (14/15 anos) de diferentes escolas secundárias de Israel, antes de iniciarem o ensino formal em ótica, que acontece nesse ano, fazendo uso de questionários em conjunto com descrições e análises detalhadas das respostas dos alunos. No que refere à propagação da luz, cerca de 26% dos alunos não indicaram a luz a sair da fonte de luz em nenhum dos esquemas, sendo que apenas 8% indicaram a luz a sair da fonte em todos os esquemas. Por outro lado, o aspeto de “raio de visão” teve uma abundância de 24% para objetos não luminosos e de 10% para objetos luminosos. A abundância deste aspeto interpretativo, bem como a diversidade de contextos e os recursos que esses contextos evocam nos alunos explicam o valor de 8%, segundo os investigadores. Segundo Langley et al. (1997), as “áreas realmente problemáticas são as relacionadas com os padrões de iluminação de objetos não luminosos e o modelo para o envolvimento da luz na visão” (p. 418)

Neste estudo, que mostrou resultados consistentes com os já analisados, os investigadores notam que os alunos chegam aos 14/15 anos de idade com as noções básicas de fonte de luz, objetos opacos, espelhos planos e lentes, bem como algumas ideias cientificamente corretas sobre propagação retilínea da luz, bloqueio em objetos opacos, reflexão por espelhos planos e mudança de direção por lentes. No entanto,

referem os investigadores, os alunos não desenvolveram um modelo descritivo e explicativo consistente para os fenómenos. Esta abordagem aos fenómenos óticos dependente da situação-problema é consistente com outros estudos e reforça a ideia de que a instrução deve diversificar a criação de situações problemáticas onde o mesmo processo explicativo seja usado.

Martinez-Borreguero et al. (2013) aplicaram um questionário ao longo de dez anos para averiguar concepções alternativas sobre a cor a 2596 alunos de vários níveis de ensino. Identificaram quatro concepções alternativas: A – a cor observada é a soma da cor da luz incidente na maçã com a cor da maçã; B – a cor observada é a cor da maçã; C – a cor observada é a cor da luz incidente e D – se a cor da luz incidente na maçã e a cor da maçã são iguais, a maçã não é vista. A concepção alternativa A teve uma abundância superior a 50% em todos os graus de ensino (desde a escola primária até professores universitários) com a única exceção de 46% em professores do ensino secundário. A concepção alternativa B teve uma abundância maior nos professores universitários e do ensino secundário (14,8% e 12,5%) com uma abundância entre 8% a 11% nos outros níveis de ensino. Por fim a concepção correta atingiu o máximo de abundância nos professores do ensino secundário com 17,2%. Os alunos pré-universitários mostraram uma abundância de concepção correta de 1,4% e os alunos universitários de 8,2%.

Este estudo mostra uma grande preponderância do Esquema H, cor-pigmento, mostrando que a cor é um tópico difícil para o desenvolvimento das aprendizagens. No entanto é necessário ter em conta que uma explicação correta da cor envolve uma compreensão correta da luz, nomeadamente da natureza composta da luz branca e da cor como resultando de absorção seletiva da luz pelos objetos. Assim, as aprendizagens sobre a luz têm de preceder as da cor.

Por seu lado, Saxena (1991) investigou as concepções alternativas sobre ótica de 181 alunos indianos, divididos em quatro grupos (78 do ensino secundário e os restantes de níveis diferentes de um curso universitário de quatro anos de ciência e educação.) Em oito questões diferentes, a máxima abundância de respostas e raciocínios corretos que encontrou foi de 46% para os 35 alunos que frequentavam o quarto ano do ensino universitário. Para todas as questões, as percentagens de resposta e raciocínio correto situou-se na casa dos 20% nos alunos do ensino secundário. A cor está entre o tópico com as percentagens mais baixas: com 15%, 22%, 19% e 29% para os quatro grupos com respostas e raciocínio corretos em simultâneo.

Mehmet Yalcin et al. (2008) estudaram as concepções sobre a luz de 100 alunos do ensino secundário da Turquia (16-18 anos). Segundo os seus resultados, 49%, não conseguiram distinguir o que é uma fonte de luz do que não é, de modo cientificamente

aceite, sendo que apenas 36% ofereceram uma explicação correta. Notemos como estes dados são coerentes com os obtidos por Sexana (ibid.) na Índia. Também para 58% dos alunos na investigação de Yalcin et al. (ibid.) a distância percorrida pela luz num dado período de tempo depende de vários fatores como a natureza da fonte, potência, frequência, ou outros factores.

4.7.3. Identificação das necessidades de aprendizagem e elaboração da sequência de ensino-aprendizagem

Para além dos estudos acabados de referir, outros foram por nós examinados (Chang et al., 2007; Collis, Jones, Sprod, Watson, & Fraser, 1998; Kaminski, 1989; Selley, 1996; Toh, Boo, & Woon, 1999; Uzun, Alev, & Karal, 2013) e pensamos assim ter percorrido a literatura relevante. Estes trabalhos mostram que as concepções prévias detidas pelos alunos são muito resistentes à instrução e, muitas vezes, regredem após a instrução em ótica; que são independentes da cultura dos alunos e muito influenciadas pelas experiências sensoriais e que são concepções alternativas que apresentam uma grande abundância.

No entanto, estes resultados mostram também alguns caminhos a seguir. Por exemplo, passar por um ensino-aprendizagem da cor sem que tenham claras ideias do caráter composto da luz branca, é pouco ou nada relevante instrucionalmente. A variação de situações-problema para o uso dos mesmos conceitos e procedimentos é suscetível de criar a percepção nos alunos de que um determinado recurso tem grande capacidade explicativa podendo assim diminuir a necessidade dos alunos recorrerem de modo *ad hoc* a processos explicativos alternativos. Por outro lado, da literatura investigada, vemos como grande desvantagem o ensino da ótica física sem que primeiro a ótica geométrica e conceitos como a imagem, sombra, luz, visão, reflexão, propagação da luz, refração, lentes e espelhos estejam bem estabilizados.

A natureza da luz na ótica física entra como um fator que deve ser trabalhado num processo de ensino usando em primeiro lugar o *scaffold* de abordagens mais simples. A introdução de conceitos como fluxo de luz, iluminância e outros, relevantes para a compreensão posterior de fenómenos como as estações do ano, podem ser desenvolvidos na ótica geométrica, considerando a representação geométrica do “raio de luz” como a direção do fluxo luminoso e usando o cone de Kepler para explicitar que de cada ponto de uma fonte de luz, esta propaga-se em todas as direções. Também a epistemologia e a ontologia dos alunos relativas à luz e à representação geométrica deve ser explicitada e discutida sistematicamente de modo a promover mudanças epistémicas e ontológicas facilitadoras da aprendizagem. Por exemplo, a síntese aditiva

e subtrativa no ensino da cor, deve ter em conta que as representações diagramáticas usadas representam situações experimentais completamente diferentes, ainda que os símbolos sejam idênticos. Ideias chave da ótica (Andersson & Kärqvist, 1983) devem ser explicitadas, i.e., não assumir que o aluno sabe que a luz sai continuamente de uma fonte de luz; não assumir que o aluno sabe que a luz se propaga ou se propaga retilineamente num mesmo meio ótico, etc. Outra abordagem que seguimos prende-se com o paralelismo, evidente na ótica, entre concepções dos Antigos e concepções das crianças (Dedes & Ravanis, 2009; Dedes, 2005). Conforme dissemos, não seguindo a abordagem da epistemologia genética de Piaget também não ignorámos que pode ser útil revisitar como foram ultrapassadas dificuldades ou como abordagens hoje descartadas mas defendidas por grandes pensadores ecoam com as posições dos alunos. Nesse sentido, por exemplo, fizemos uso de uma adaptação, ainda que muito esquemática da excursão histórica de Galili sobre a visão (Galili, 2010)(Apêndice G)

Antes de prosseguir, é necessário esclarecer que no nosso estudo não investigámos as necessidades de aprendizagem para a cor e para a luz ao mesmo tempo. Foi com o decorrer do trabalho que sentimos necessidade de diferenciar as duas abordagens. Ainda que Newton tenha realizado a sua magistral síntese da cor, o surgimento de outra comunidade epistémica, a dos artistas – facto histórico com forte influência curricular, pois a cor é ensinada no segundo ciclo do Ensino Básico do ponto de vista dessa comunidade epistémica – bem como a complexidade dos dois assuntos, a luz e a cor, levou a que quando realizámos a primeira sequência de ensino-aprendizagem (TLS), a cor e as necessidades de aprendizagem da cor, não tivessem ainda sido estudadas com a necessária profundidade. Também o problema do desenvolvimento de instrumentos como o fluxo luminoso e a iluminância, para o estudo e compreensão das estações do ano, que se segue ao estudo da ótica no domínio da astronomia, só foi percebido mais tarde a tempo do segundo ciclo investigativo.

Na elaboração da TLS relativa ao 1º ciclo investigativo que passaremos a designar como TLS1, colocámos como objetivo realizar o levantamento das concepções prévias sobre ótica dos nossos alunos de modo a ajudar-nos a perceber até que ponto as concepções de educadores e professores em formação em Portugal no seu segundo ano de formação são semelhantes às indicadas na literatura, como supusemos na elaboração da TLS1, bem como com o objetivo paralelo de servir de instrumento de avaliação da eficácia desta mesmo TLS1 assim como de instrumento de construção da TLS2. Foi, no entanto a HFC a orientadora para a elaboração TLS1 e TLS2 em seis aspetos fundamentais:

– Assistiu-nos na interpretação dos dados de concepções alternativas e na própria

sistematização dessas concepções;

- Deu-nos indicações sobre a organização do processo de ensino-aprendizagem por nós orientado;
- Foi fonte onde fomos buscar métodos e processos;
- Orientou a formação de materiais didáticos de apoio ao ensino-aprendizagem;
- Orientou a nossa formação e intervenção didática relativamente à natureza da ciência;
- Foi uma área onde desenvolvemos e aprofundámos o nosso conhecimento de alguns tópicos que tínhamos previamente garantidos como conhecidos, permitindo-nos um aumento de recursos didáticos.

Estes elementos deram, assim, mais um contributo na resposta à segunda questão de investigação, i.e., quais os processos utilizados na transformação das práticas de ensino em direção a um ensino das ciências com HFC?

A elaboração da primeira sequência de ensino-aprendizagem encontra-se formulada na Tabela 1 do Apêndice B.

4.7.4 Uma abordagem à fiabilidade dos instrumentos de recolha de dados

Vamos agora analisar os dados recolhidos para o levantamento de concepções dos alunos, no início do 1º e 2º ciclos investigativos e que se encontram no Apêndice F. Recordamos os Esquemas usados por nós após transposição, sem modificação, de Galili et al. (2000).

A – Esquema da visão espontânea (ver acontece naturalmente como resultado da presença do olho.)

B – Esquema corpóreo da luz (luz é reificada.)

C – Esquema da luz-lanterna (raios individuais são emitidos de cada ponto da fonte de luz.)

D – Esquema holístico da imagem (uma imagem é uma réplica corpórea de um objeto. Pode-se mover, manter-se no mesmo lugar ou rodar.)

E – Esquema da Imagem projetada (cada ponto-imagem está relacionada com o seu correspondente ponto-objeto por um único raio de luz.)

F – Esquema Sombra como imagem (A sombra é uma espécie de imagem separada do objeto.)

G – Esquema Sombra e envolvimento (A sombra depende do ambiente envolvente.)

H – Esquema Cor-pigmento (A luz tem pouca ou nenhuma relação com a cor.)⁴⁰

⁴⁰ A cor não foi analisada no quadro do aspeto-esquema, mas através de uma análise de

Podemos verificar (Figura 17) que existe uma abundância muito próxima e superior a 30% em todos os esquemas. Estes valores concordam com uma forte presença inicial de concepções alternativas em ótica que também verificámos na literatura.

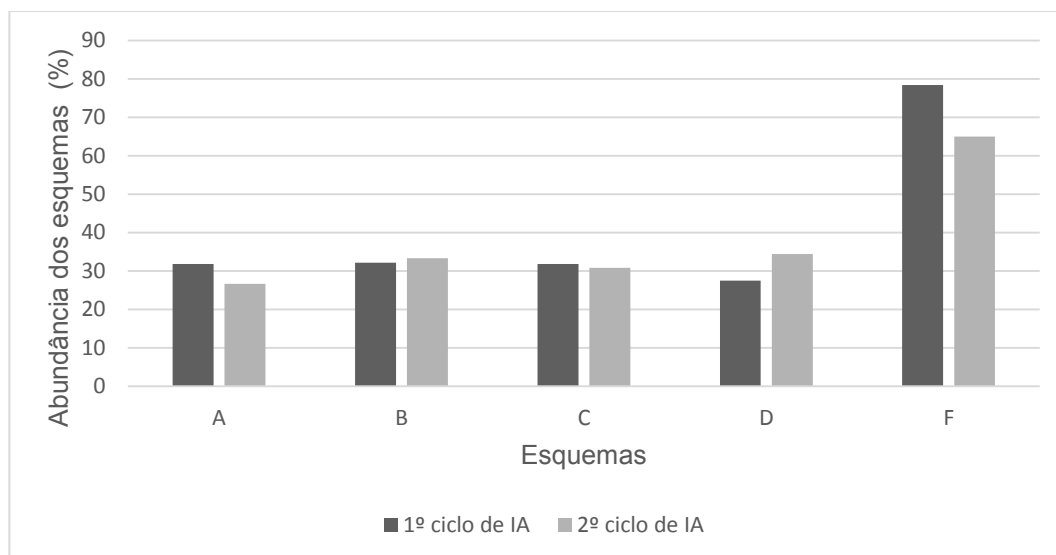


Figura 17. Abundância dos Esquemas do conhecimento antes de iniciarmos o ensino-aprendizagem nos dois ciclos investigativos.

O esquema F está fortemente presente porque o aspeto do conhecimento que refere a identificação de zonas de sombra e de penumbra numa superfície é realizado por muito poucos alunos. Comparando os valores obtidos para o levantamento das concepções iniciais, vemos que existe uma correlação significativa, pelo que usamos este dado como um fator de fiabilidade da nossa análise de dados. Outro fator que contribui para a fiabilidade desta componente do nosso estudo foi a análise repetida de várias amostras das respostas dos alunos tanto por mim como pela amiga crítica, e a concordância em atribuí-las, dentro de uma diferença que considerámos aceitável, ao mesmo aspeto do conhecimento.

No que respeita ao levantamento de concepções alternativas relativas à cor, (Figura 18) verificamos a existência de diferenças significativas nas concepções iniciais antes de instrução entre o primeiro e o segundo ciclo investigativo.

conteúdo. O motivo que nos levou a esta decisão metodológica relaciona-se com a percepção de que uma análise de conteúdo revelaria aspetos que de outro modo permaneceriam escondidos, pois apenas existe um único esquema para descrever a cor.

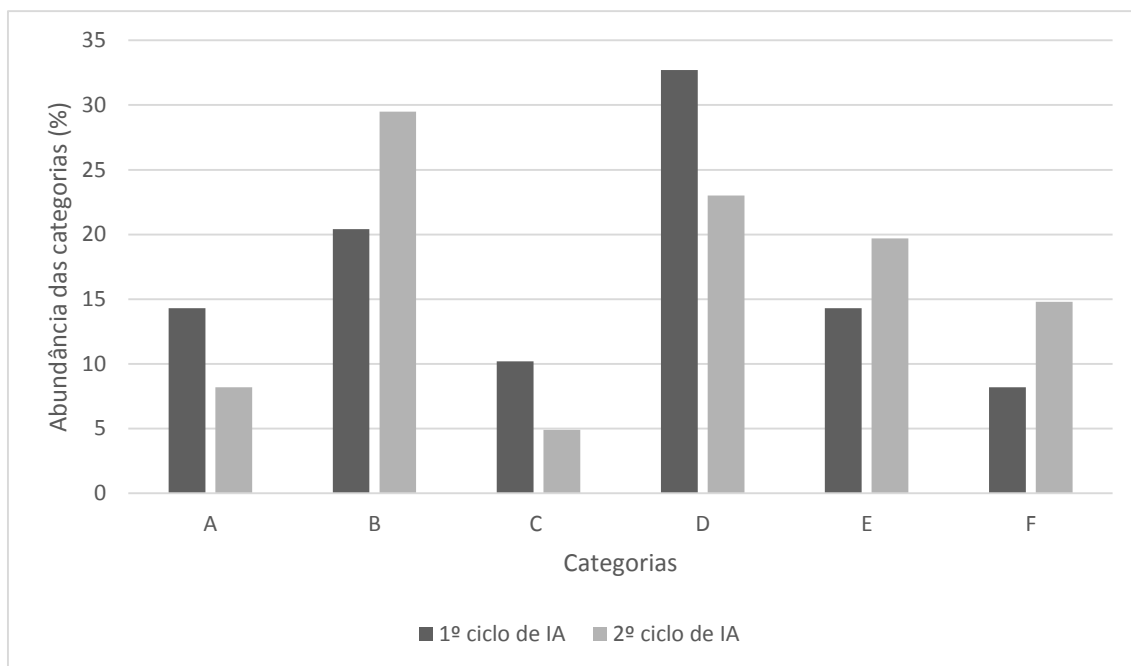


Figura 18. Abundância das categorias que revelam concepções alternativas sobre a cor antes de iniciarmos a instrução no 1º e 2º ciclo investigativos.

Estas diferenças merecem uma análise mais cuidada, já que a população, de acordo com a literatura que analisámos, deveria reportar concepções semelhantes e uma grande abundância de concepções alternativas. A investigação das concepções alternativas referentes à cor foi realizada por análise de conteúdo (Bardin, 2007) de duas das 13 respostas ao questionário Q1. Ou seja, como 11 respostas do questionário informaram, pelo menos potencialmente, os aspetos do conhecimento sobre a luz, a abundância de cada aspeto é nominalmente significativa, pelo que pequenas variações nominais não provocam variações de frequência relevantes. Ora o mesmo não acontece com a cor.

As categorias (Tabela 7) emergiram dos dados, sendo apenas a sua descrição e nome, informadas pela literatura. A diferença de apenas uma unidade de registo na categoria “As cores partilham com a luz algumas propriedades” causa uma diferença percentual de quase 5%; na categoria “Cor é uma propriedade do material” uma diferença de 3 unidades de registo provoca uma diferença percentual superior a 5%.

Outro aspeto a considerar é que apesar destas diferenças há uma tendência potencialmente relevante: por um lado a diferença, apesar dos fatores referidos, é sempre menor que 10%, e, por outro lado, a variação da abundância das unidades de

registo do primeiro para o segundo ciclo investigativo segue uma tendência semelhante.

De facto, analisando as categorias duas a duas, quando uma aumenta de um ano para o outro, a outra também aumenta. Por fim, o facto de apenas termos encontrado, no máximo, 15% de unidades de registo que mostram uma conceção correta tanto num ano como no outro, confronta positivamente com o reportado na literatura. Deste modo os nossos instrumentos revelaram uma fiabilidade que nos permitiu prosseguir o estudo.

Tabela 7

Categorias, nome e descrição, que emergiram da análise dos dados para a análise das concepções sobre a cor.

#	Categoria	Descrição
A	Cor é uma propriedade do material.	A cor é relacionada com a existência de propriedades especiais dos objetos, tais como pigmentos, tintas ou a sua composição química. Mesmo quando a luz é referida, mas ocupa um plano secundário no texto, associamos a unidade de análise a esta categoria. Exemplos: <i>[vejo as caixas com cores diferentes] pois elas têm diferentes tintas</i> Q1i-07; <i>Cada caixa tem a sua cor</i> Q1i-30
B	A luz é um facilitador da visão e da percepção da cor.	É referido que a luz é necessária para identificar cores que existem previamente nos materiais. Exemplo: <i>A incidência de luz sobre as caixas permite-nos identificar as cores que elas têm.</i> Q1i-07
C	As cores partilham com a luz algumas propriedades (podem ser refletidas, absorvidas, etc.)	É referido, por exemplo, que a cor pode ser absorvida, transmitida ou refletida. Mesmo quando a luz é referida, mas ocupa um plano secundário no texto, associamos a unidade de análise a esta categoria. Exemplos: <i>[Porque] as caixas absorvem todas as cores.</i> Q1i-08
D	Cor em arte.	A cor é referida num quadro de conceptual pictórico. Por exemplo, são referidos graduações de cinzento, cores claras e escuras. Mesmo quando a luz é referida, mas ocupa um plano secundário no texto, associamos a unidade de análise a esta categoria. Exemplos: <i>Nós vemos uma cor neutra</i> Q1i-12; <i>[Eu] vê-las-ia em tons de cinzento.</i> Q1i-06
E	A cor resulta de processos fisiológicos.	A cor é relacionada com alguma característica fisiológica do olho. Mesmo quando a luz é referida, mas ocupa um plano secundário no texto, associamos a unidade de análise a esta categoria. Exemplos: <i>nos olhos nós temos nervos e ligações que nos permitem perceber as diversas cores.</i> Q1i-36
F	Explicação da cor próxima da cientificamente aceite.	Quando é referida absorção e/ou reflexão seletiva da luz, com ênfase na luz branca. Consideramos também referências à cor como não sendo propriedade do objeto sem menção da luz. Exemplo: <i>[Nós vemos cores] devido à reflexão e refração da luz</i> Q1i_11; <i>A cor não é uma propriedade do objeto</i> Q1i-21.

4.7.5 Problemas, dificuldades e recompensas: uma abordagem ao processo de ensino-aprendizagem

A necessidade de explicitar todo o processo do sistema de visão, levou-nos a considerar, numa primeira instância, uma abordagem à visão que envolvia aspetos físicos (propagação da luz em linha reta num mesmo meio ótico – entre o objeto e o olho e depois do cristalino até à retina - e mudança de direção por uma lente biconvexa), e fisiológicos, como a constituição e função de algumas partes do órgão da visão. Foi aliás esta integração que levou à construção por Kepler da moderna teoria da visão (Apêndice C). Desenvolvemos este processo, sempre, pela construção esquemática de uma representação do olho no quadro, onde associámos o cristalino em conjunto com a córnea a uma lente biconvexa e fizemos uso do cone de Kepler, mostrando e enfatizando que de cada ponto de um objeto luminoso ou iluminado sai continuamente luz em todas as direções possíveis (Figura 19).

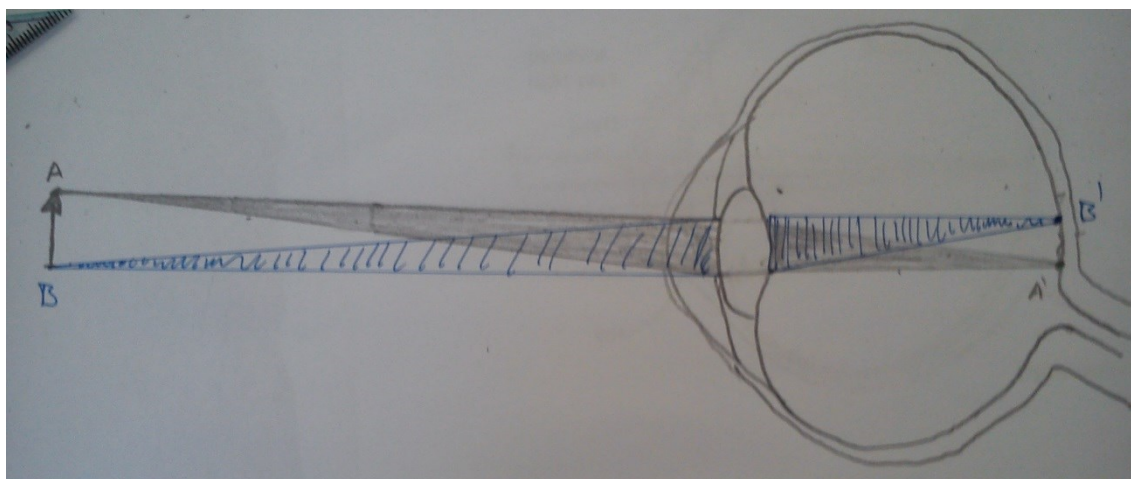


Figura 19. Esquema representando a formação da imagem no olho.

De igual modo:

Ao realizar a classificação de lentes e de espelhos, partimos do conjunto córnea [mais] cristalino bem como da assimilação de Descartes do dedo a uma superfície convexa, [e] do ouvido ou nariz a uma superfície côncava: isto despertou [nos alunos] um interesse pela forma prosaica como duas entidades matemáticas podem ser associadas ao próprio corpo. (Diário de Bordo (DB) 14 março 2013)

Para ajudar no enquadramento histórico – nomeadamente porque Kepler e o estudo da ótica era tão fundamental nos inícios do século XVII – e na justificação pedagógica de termos iniciado o nosso estudo pela ótica, bem como para ligar a ótica ao tema da astronomia que se seguiria, assim como para reforçar a explicação dada em

sala de aula de que a luz sai de um objeto luminoso em todas as direções (princípio fundado por Al- Kindi no século IX), mas também com o propósito de reforçar a compreensão do processo de visão, elaborámos dois *vídeo clips* que colocámos à disposição dos alunos num sítio *web* criado para o efeito, <http://vimeo.com/119354357> e <http://vimeo.com/119354356>

A par deste processo, desenvolvemos uma adaptação da excursão histórica de Igal Galili sobre a visão e que serviu, de modo parcial, como apoio ao estudo (Figura 20) (Apêndice G)(Galili, 2010).

Usámos duas estratégias para a obtenção de imagens invertidas. Uma, usando uma lente biconvexa, uma vela acesa como objeto e uma placa. A outra, usando uma câmara obscura. Estas foram inspiradas no trabalho ótico de Kepler e foram construídas em número suficiente para que cada grupo de alunos, em geral constituídos por três alunos, usasse em laboratório e realizasse as observações. No entanto tivemos o cuidado de colocar Kepler como o culminar de um trabalho de séculos. Em particular a referência ao trabalho dos sábios árabes na produção e transmissão de conhecimento foi um processo constante no nosso ensino (Figura 21).

Tanto o sentido de propagação como o facto da própria propagação da luz, foram amplamente referidos em sala de aula. Não pretendemos com isto dizer que a referência a um facto coloca-o com uma posição no quadro mental do aluno diferente da que ele já possui. A direção da ação da luz, do objeto para o olho, tão explícita nas nossas aulas e em figuras e representações disponíveis aos alunos e/ou apresentadas em aula (e.g. Figura 22) não foi realizada num ambiente de discussão de conceções e possibilidades diversas mas num ensino-aprendizagem onde dominou a exposição.

Al-Kindi no século IX e Ibn al-Haytham no século XI, conhecido na cristandade por Alhazen (965-1038), grande filósofo, matemático e astrónomo árabe, deram passos fundamentais para o entendimento da visão. Trabalhando sobre as teorias dos Antigos, que conheciam por traduções para árabe de comentários realizados nos primeiros séculos da Era Cristã. Al-Kindi (801-866) estabeleceu o princípio de que cada ponto de uma fonte de luz emite raios de luz em todas as direções possíveis. Numa extensão deste princípio, al-Haytham (Alhazen) afirmou que o mesmo acontecia a todos os objetos, fontes ou refletoras de luz.

Este princípio, não contraria a lei da reflexão, pois Alhazen refere-se a objetos não espelhados.

Figura 20. Descrição textual do princípio, devido a Al-Kindi e a Alhazen segundo o qual cada ponto de um objeto rugoso reflete luz em todas as direções. Adaptado de Galili (2010).

Este procedimento foi errado da nossa parte, pois o objetivo de um ensino da ciência humanizado é aquele onde o *inquiry* está presente. Podemos inferir agora que a discussão em sala de aula da excursão histórica construída por Igal Galili, ou outra semelhante, e à qual já aludimos deveria ter sido usada por nós. Mas o insucesso (percecionado) do seu uso em uma turma pós-laboral, não nos levou a reconsiderar o seu uso mas apenas a utilizar partes dela para informar a contextualização do conhecimento ótico no percurso da sua construção.

Quanto ao manuseamento da câmara obscura e aprendizagens realizadas⁴¹, surpreendeu-nos pela negativa a passividade com que vários grupos a manuseavam: agarravam-na, olhavam-na e olhavam através do orifício de modo rápido e não exploratório. Rapidamente voltavam a coloca-la em cima da bancada, num processo que demorava um instante. Muitas vezes, dos três ou quatro alunos que constituíam o grupo, apenas um ou dois faziam essa atividade, tendo os restantes um papel passivo de pertença ao grupo. A falta de exploração do instrumento e de inquirição sobre o que

⁴¹ Era nosso objetivo trabalhar algumas representações históricas do uso da câmara obscura, como esta de Gemma Frisius (1508-1555) (Figura 23) nascido na atual Holanda e que foi publicado por volta de 1546. Note-se “a cara” do Sol, representação normal pré Kepleriana. No entanto, ainda que tivéssemos chamado a atenção para este tipo de representações pré-paradigmáticas e a similitude com as representações das crianças dos mesmos corpos, não fomos mais longe do que a referência ao assunto.

Os princípios subjacentes ao funcionamento da câmara obscura foram corretamente analisados em primeiro lugar por Ibn Al-Haitham ou Alhazen (965 – 1040). Na sua obra *Perspetiva* (tradução latina do século XIII), Alhazen descreve as seguintes observações, equivalentes às que mais tarde ficaram conhecidas como produzidas na câmara obscura:

“A evidência de que luz e cor não estão misturados no ar ou em meios transparentes é aquela na qual um número de velas estão num lugar, em várias e distintas posições, e opostas a uma abertura para um lugar escuro e nesse lugar escuro, oposto à abertura está uma parede ou corpo opaco e as luzes desses velas surgem no corpo opaco ou parede de forma distinta de acordo com o número de velas; e cada uma delas [das imagens] surge no oposto de uma vela ao longo de uma [linha] reta passando através de uma abertura. Se uma vela é coberta, apenas a luz oposta àquela vela é extinta; e se a cobertura [da vela] é removida, a luz volta [à parede]... Portanto, as luzes não estão misturadas no ar, mas cada uma delas [das luzes] estende-se ao longo de linha retas.”

Figura 21. Texto distribuído aos alunos com a tradução de uma passagem de Alhazen que refere o uso da câmara obscura como evidência de propagação da luz em linha reta num mesmo meio ótico

viam levou-nos a desafiar os alunos a conferir o que afirmavam observar com as observações, numa tentativa de aumentar de modo significativo a exploração da câmara obscura.

A seguinte passagem de uma entrevista focal mostra-nos que nas aulas de ciência, o facto de esperarem um determinado resultado leva à falta de exploração do objeto. Outro fator foi a complexidade ou o medo de estragar:

Paulo Maurício (PM): porque vocês não experimentam as várias possibilidades, não mexem nas coisas, digamos assim.

Aluno/a4: podemos estragar as coisas

Aluno/a5: acho que nós acabamos sempre por mexer...

Aluno/a4: às vezes não conseguimos saber como é... Como é que se liga aquilo, ou... Se calhar antes da atividade o professor diz: olha, isto é a banca de ótica, mexe-se aqui, mexe-se ali. Porque há coisas... Agente sabe não é? A proveta e isso agente sabe como é que deve mexer, que são coisas que agente usa mais frequentemente... Agora outras coisas que agente não usa acho que é mais difícil.

PM: pois... eu percebo. Mas vocês centraram-se no exemplo da banca de ótica que de

facto foi uma coisa... Mas eu reparei, não estou a falar do vosso caso, não tenho presentes casos particulares. Mas reparo que vocês em geral quando estão no laboratório... e até notei isto especialmente nas primeiras aulas, tocam... a câmara obscura, tocam, mexem naquilo apenas para ver a imagem, depois voltam a colocar e não experimentam mais; nos espelhos: vêm um espelho, fazem uma coisa e pousam-no e não experimentam mais

Aluno/a5: lá está é porque nós já estamos à espera de um resultado, portanto... No nosso caso não é isso que acontece! Nós na aula estamos sempre a mexer em tudo, se não em tudo é quase, não é aluno4?

[risos]

Aluno/a5: mas é a tal história. Se nós sabemos que a imagem terá que aparecer invertida, pelo menos os colegas que o fizeram, viram e pousaram, acho que foi deixarme ver como vou conseguir chegar lá, pronto, já tenho a imagem, é isto que eu quero, não quero mais nada. Porque lá está. Já têm conhecimento do resultado, já sabem o que se espera. Talvez se não tivessem...

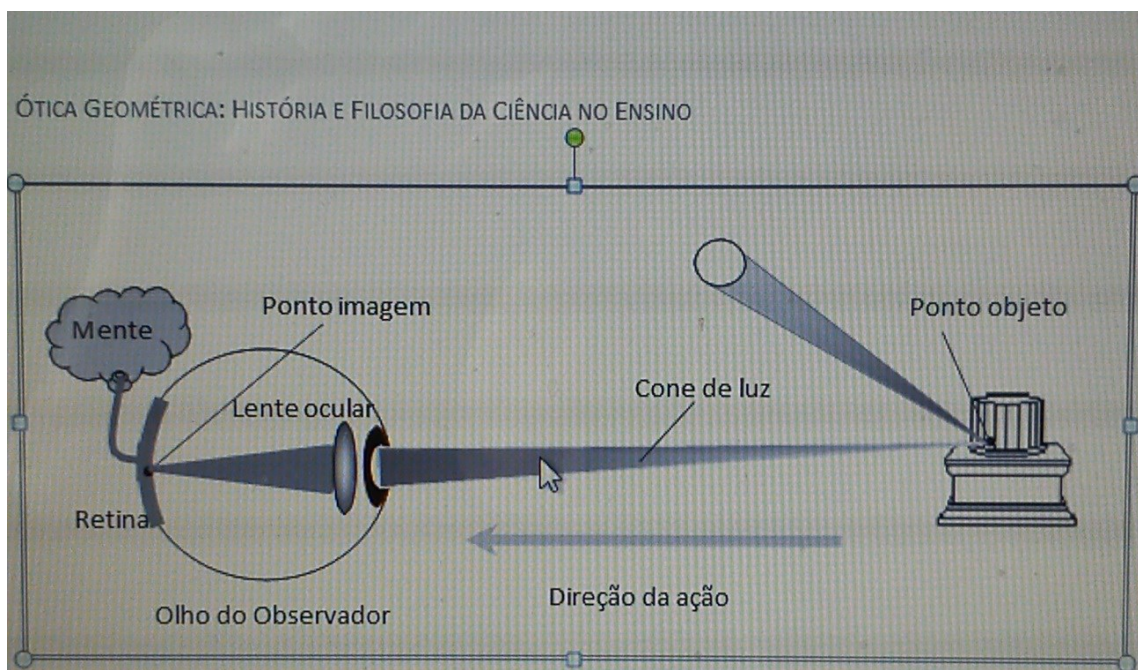


Figura 22. Representação esquemática da solução de Kepler para o problema da Visão. Adaptado de Galili (2010)

Ou, de seguida, a questão do cuidado a ter com o material:

Aluno/a5: também devido aos materiais.

Aluno/a4: sim, porque esses materiais não são nossos, não é? Também temos que ter um maior cuidado com eles. Porque por exemplo em artes plásticas, nós temos os nossos lápis, temos o nosso papel, agente faz o que agente quer. Agora com esses

materiais que não são nossos temos... Acho que temos um maior cuidado com eles. *Porque também foi dito antes que os materiais têm que ser respeitados porque se se partem têm que comprar outro... Percebe? Acho que tem mais a ver com isso. [ênfase nossa]*

PM: vocês acham que [se] alguns materiais, alguns instrumentos, fossem mesmo construídos por vocês...?

Aluno/a5: sim!

Aluno/a4: sim, se os soubéssemos construir, sim.

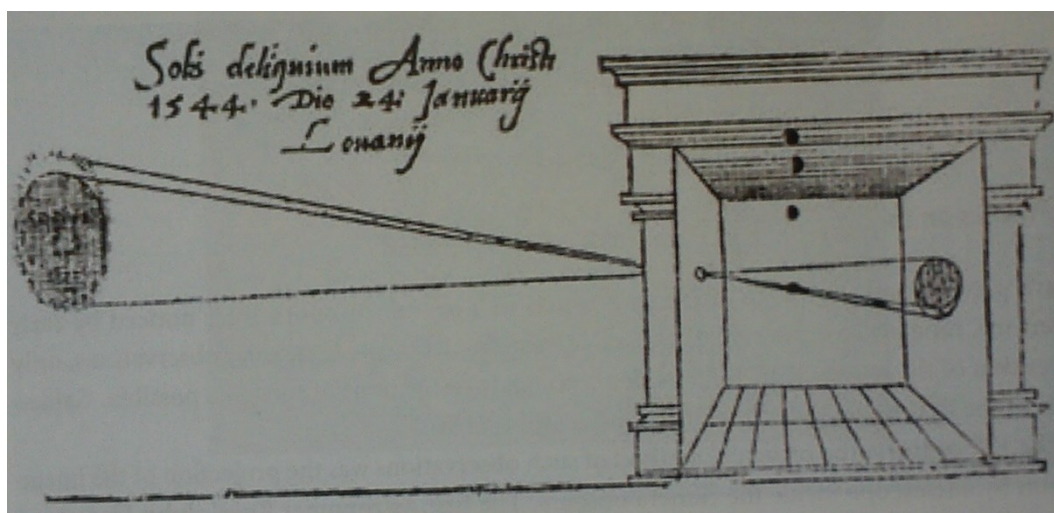


Figura 23. Representação de Gemma Frisius (1508-1555) da câmara obscura.

Pensamos hoje se não foi um erro ter construído a câmara obscura previamente: Os alunos teriam realizado um objeto, que poderiam chamar deles e eventualmente usá-lo noutra UC (artes?). No entanto, a câmara obscura acabou por ser adotada pelos restantes colegas que davam a mesma UC pelo que constituiu um ganho de disseminação da nossa investigação, e a sua recetividade no segundo ciclo investigativo foi bastante diferente.

De facto, quando falámos da componente bidirecional da ação didática que no nosso caso foi um aspeto do desenvolvimento da investigação-ação, referimos exatamente o que queremos referir, i.e., tomamo-la a sério. Ou seja, a resposta dos alunos, individual e coletiva teve também influência no modo e na profundidade como o nosso ensino se desenrolava. E neste aspeto os alunos do segundo ciclo investigativo revelaram-se mais recetivos a muitas das nossas estratégias didáticas, as quais entretanto, já haviam em parte sido alteradas, fruto da informação recolhida neste primeiro ciclo investigativo.

Outro aspeto que poderá estar relacionado com a passividade com que os alunos encararam a atividade laboratorial, é a observação descuidada ou acrítica. Como anotámos:

os alunos do 2 XX (2º turno) foram muito pouco participativos na aula prática. Não mexiam no material. Observavam uma vez pela câmara obscura (...) [e] diziam que o que observavam eram “pontos.” Pelo menos dois alunos de dois grupos diferentes mencionaram pontos ao se referirem a imagens extensas. (DB, 13 março 2013).

Ora o que observaram foi uma imagem com extensão, pequena mas com extensão e que reproduzia a chama da vela. A observação de um ponto foi referida por várias alunas pelo que ou tomamos este fato como um auxiliar de linguagem para significar uma imagem pequena ou, então, como querendo significar isso mesmo, um ponto.

O certo é que apenas depois de alertadas, as alunas modificaram a opinião para considerar que o que observavam tinha a forma do objeto e era, portanto diferente de um ponto. Assim, “Parece-me claro o fraco nível de conhecimentos processuais. Claramente ligados aos conceituais, penso que o mais urgente é que percebam que em ciência é necessário experimentar; tentar várias possibilidades; explorar as possibilidades” (DB, 14 março 2013). Esta ideia de obtenção de um mesmo resultado, neste caso de uma imagem, utilizando vários processos como forma de desenvolvimento do conhecimento processual e conceitual repete-se na nossa investigação, tanto ao nível do estudo da literatura como do nosso pensamento para que as alunas adquirissem um conhecimento mais sólido.

Como está na TLS1 (Tabela 1-B), trabalhámos a lei da refração antes de abordarmos a reflexão. O fenómeno da refração da luz é essencial para o entendimento do processo e visão, pois ao assimilarmos a córnea e o cristalino a uma lente biconvexa, trabalhamos tanto uma lente de vidro como de material biológico (córnea e cristalino), como meios óticos pela qual a luz passa, mudando de direção. Só na aula seguinte demos o passo necessário para completar o processo, formalizando a lei da reflexão. Aqui invertemos a sequência habitual na apresentação da ótica geométrica com a lei da reflexão seguida pela lei da refração, ou de ambas seguidas, como leis a que a luz obedece em determinadas circunstâncias.

O objetivo era claro: tornar as leis significativas. Se não havíamos ainda referido espelhos e estávamos apenas a discutir a visão com grande ênfase na saída da luz de um objeto e percurso dentro do olho, falar da refração fazia todo o sentido e nenhum em falar da reflexão.

Um outro aspeto que esta abordagem favoreceu, foi uma primeira discussão do papel dos modelos em ciência. O esquema do olho, que repetidamente realizávamos no quadro, era uma representação de alguns aspetos que modelavam uma realidade mas claramente não era um olho. Nos modelos⁴² mais simples, a córnea e o cristalino eram mesmo representadas por uma única estrutura que representava uma lente biconvexa. Este foi um passo prévio para a introdução do “raio de luz” como modelo que representa a direção e o sentido de propagação do fluxo de luz.

Como identificámos nas necessidades de aprendizagem, o que os alunos sabem sobre a visão é muito fragmentado, sendo muito poucos aqueles que no fim da escolaridade obrigatória têm uma capacidade explicativa suficiente para enfrentar as situações-problema com sucesso. Procurámos desde a primeira aula que nenhum assunto ficasse implícito. Que a luz se propaga e entra no olho e que é a sua chegada à retina, formando uma imagem invertida que leva à obtenção das imagens que vemos do mundo; que a luz se propaga em linha reta num mesmo meio ótico, e que apenas se desvia de direção quando encontra a fronteira com outro meio ótico, sendo refratada, ou um corpo espelhado sofrendo uma reflexão ou ainda um corpo rugoso, sofrendo uma reflexão difusa, foram tópicos trabalhados de modo sistemático tanto em aulas teóricas como em laboratório.

Antes de passarmos à discussão da natureza da luz branca como luz composta e de que modo aspetos da natureza da ciência foram discutidos, sentimos que é necessário salientar uma evidência que a literatura consultada levava a que suspeitássemos.

Na nossa atividade didática não temos por hábito usar *power point* ou outro meio de suporte ao ensino para além de algumas notas e, claro, do plano de aula. Como já foi referido, temos construído e/ou usado, diversas plataformas digitais com uma natureza mais acentuada de repositório (sítios *web*) ou de interação, plataforma *moodle* e *wiki*. Foram usados de igual modo *wikis* já existentes na plataforma *moodle* da escola como fora dessa plataforma, tendo mesmo, em conjunto com colegas nossos, realizado alguma investigação sobre o seu uso (Valente, Maurício, & Teodoro, 2012). Nessas plataformas colocamos recursos construídos por nós, que vão desde informações académicas a textos de apoio, passando por *video clips*. Também, durante alguns anos o *wiki* serviu como plataforma onde os alunos realizavam o registo das atividades laboratoriais. Ou seja, não é por falta de familiarização que não usamos ferramentas

⁴² Claro que aqui estamos a utilizar a palavra modelo no sentido de representação de alguns aspetos do fenómeno de entre as várias possibilidades existentes para falar de modelo em ciência (Hacking, 1983)

digitais, como a simples projeção de um *ppt* (ou equivalente) em sala de aula, mas por opção didática.

Claro que em algumas situações mais pontuais quando a imagem é tudo, recorremos a essa ferramenta; não o fazemos, contudo com a sistematicidade dos nossos colegas. Não julgamos estar corretos e os nossos colegas errados, mas vimos algumas vantagens na nossa abordagem que superam as desvantagens.

Quando estamos no quadro com o giz a realizar uma representação ou a fazer uma listagem, estamos a fazê-la com os alunos; eles estão a seguir os nossos processos e o nosso próprio processo é moldado pelas necessidades deles. Em representações gráficas julgamos este procedimento muito útil: mostramos aos alunos não apenas o produto mas o processo. Como escrevemos:

Não usei ppt nas aulas, aliás conforme planificado. O facto de desenhar os esquemas no quadro permite-me interagir mais com eles que replicam no caderno. Representei o olho; a câmara obscura, os cones de Kepler; a formação de imagens no olho e na câmara obscura: discutimos cada uma destas representações. (DB, 14 março 2013)

Mas esta opção pedagógica traz dificuldades. Uma delas é que por vezes erramos. Por exemplo, quando estamos a realizar o esquema da trajetória da luz numa gota de água (Figura 29 - Apêndice E) de modo a que um observador veja o arco-íris, representar devidamente a “cor” que sai por cima e a “cor” que sai em baixo em cada gota é fundamental. Quando todo o processo é realizado em interação com os alunos, onde em cada passo eles nos indicam em que direção a linha que representa a direção do fluxo luminoso deve seguir quando atravessa a superfície entre o ar e a água; quando representamos no quadro uma ideia que é nossa e deles em simultâneo, então podemos errar. Mais: se a aula se aproxima do fim, e todo o argumento se baseia na construção que em conjunto realizámos e no fim há um desacordo entre o resultado construído e o resultado pretendido, então podemos mesmo falhar a explicação:

Ontem na aula falhei na explicação, pois coloquei a luz azul a sair em baixo, não conseguindo explicar como é que o azul surge em baixo e o vermelho em cima quando vemos o arco-íris. É o que resulta do facto de trabalhar sem ppt e em geral sem rede. Consegui ultrapassar bem o problema, mas terei que ter mais cuidado. (DB, 10 abril 2014)

Ora o erro do professor, neste caso o nosso erro é visto como uma falta de conhecimentos. Numa entrevista focal está explícita uma epistemologia de ensino-aprendizagem de ciência onde o erro não é visto como potencialmente produtivo:

PM: e o que disseste há bocado de que necessitas de argumentar nas ciências sociais, e que permitem a formulação de pensamento próprio. Isso também notas aqui na [escola]?

Aluno/a7: [...] eu nas ciências... Eu tenho que saber explicar as teorias... Só que eu, é que... eu *nas outras há uma grande margem de manobra para divergir do assunto* um bocado e nas ciências naturais obriga-me a concentrar naquilo.

[...]

Aluno/a7: é mais objetiva, eu consigo ser mais objetiva.

Aluno/a8: [...] *No entanto acho que a ciência também nos obriga a pensar* a puxar pelo raciocínio. (sublinhado nosso) (Entrevista Focal)

“Nos obriga a pensar” referiu o/a “aluno/a 8”, mas não a discutir, a desenvolver processos argumentativos, acrescentaríamos nós para completar o pensamento do/a aluno/a. A posição de espetadores pouco intervenientes (no limite, nada intervenientes), com que os/s alunos/as vão para aulas de ciências ouvir (literalmente) o professor recitar conceitos, leis e teorias, verdadeiras e na sua forma acabada, é a de alunos que têm uma epistemologia do que é aprender ciências físicas que difere de modo radical da crença epistémica do que é aprender, por exemplo, Língua ou Artes (Elby, 2001; Hammer, 1989; Kalman, 2009). Aprender artes ou sociologia, ou uma disciplina de outra área do conhecimento envolve discussão, troca de argumentos, correção de posições, avaliação da validade relativa de várias posições etc. Nada disto está presente na epistemologia do aluno sobre a aprendizagem de ciências físicas e da natureza quando entra na sala de aula.

Assim, no nosso processo investigativo, o estudo da HFC e da natureza da ciência (e.g., Clough, 2006) levou-nos a valorizar, antes de mais, estratégias didáticas que mostrassem o processo no seu desenvolvimento em lugar de adotar estratégias didáticas que contribuíssem para a eliminação do erro, reforçando deste modo os nossos compromissos ontológicos enquanto professor-investigador (primeira questão de investigação.) Como afirma Santos (2005) no desenvolvimento de uma pedagogia assumidamente bachelardiana:

O bloqueamento intelectual do aluno é, em regra (...) fruto de pedagogias que escolarizam a razão do educando. É fruto de uma escola que lhe dá uma imagem de razão acabada por uma lenta, cuidada e paciente justaposição de processos e de conteúdos. É fruto de uma educação que transmite aos alunos segurança, conformismo e dogmatismo nos seus sucessos escolares.” (pp. 50,51)

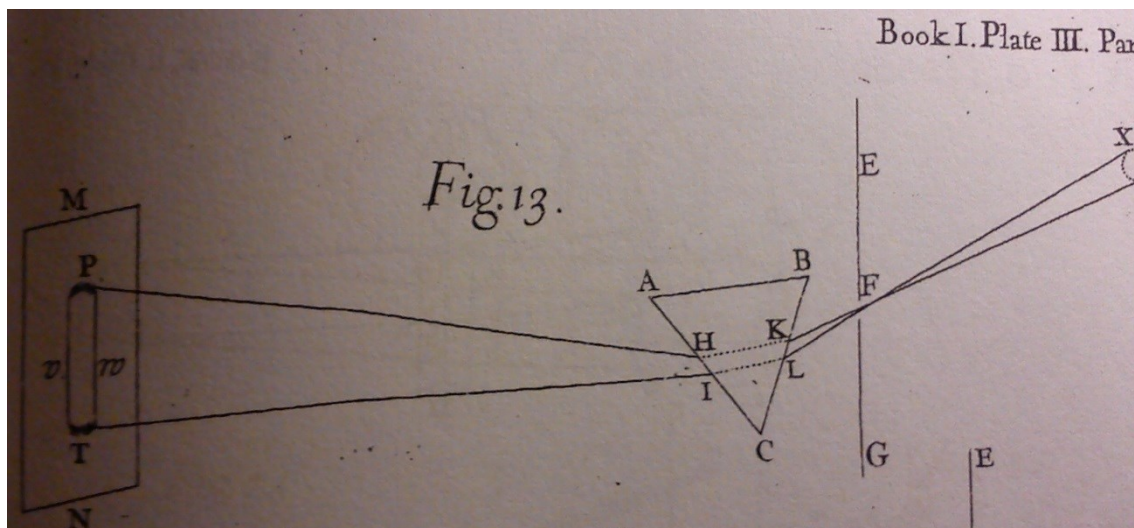


Figura 24. Esquema da experiência que surge na *Opticks*, pretendendo mostrar o surgimento de um 'espectro' PT numa placa MN após entrada da luz do Sol pelo orifício F e sua passagem pelo prisma ABC. (I. Newton, 1704)

A natureza composta da luz branca foi o passo seguinte que era necessário explorar para que o processo da visão pudesse ficar completo e pudéssemos trabalhar a cor.

A introdução do prisma como instrumento de análise da luz seguiu muito a abordagem de Newton na sua "Nova Teoria" (Apêndice C). Disponibilizámos aos alunos o esquema da experiência inicial de Newton (Figura 24), bem como um texto que foi retirado da tradução comentada que realizámos, mas sujeito a variadíssimos outros comentários e observações que pretendia aproximá-lo do contexto de sala de aula. Em simultâneo trabalhámos o carácter problemático da obtenção do espectro, sendo que foram os/as próprio/as alunos/as a obterem cores pela análise da luz (Figura 26).

Mostrar que da síntese da luz branca emergem cores, é um passo necessário para a compreensão da cor, mas está longe de ser suficiente. No entanto não entrámos nessa discussão e o próprio processo de surgimento de cor por uma ação sobre a luz era já de si, pensávamos nós, uma atividade com grande significado didático, dadas as necessidades de aprendizagem acima identificadas. De facto, conforme registámos:

Surgiu um problema [conceitual] em uma aluna: um objeto era de cor vermelha pois tinha pigmento vermelho, ou um pigmento que lhe dava essa cor. Apesar de uma outra aluna ter dado a resposta correta à minha pergunta sobre a cor de um objeto, houve alguma discussão. A questão ficou em aberto para as próximas aulas. Talvez seja interessante disponibilizar o texto de Newton sobre a cor que traduzi da *Opticks* onde está evidente um elemento subjetivo muito forte na identificação das cores, nomeadamente a relação com as notas musicais. (DB, 3 abril 2013)

Ou seja o pigmento dava cor. Ou os objetos já tinham esse pigmento no seu material ou então tinham qualquer coisa que desempenhava as mesmas funções de um pigmento. A ideia da cor como possuindo uma corporalidade foi verbalizada por esta aluna com grande ênfase mas era defendida por muitas outras.

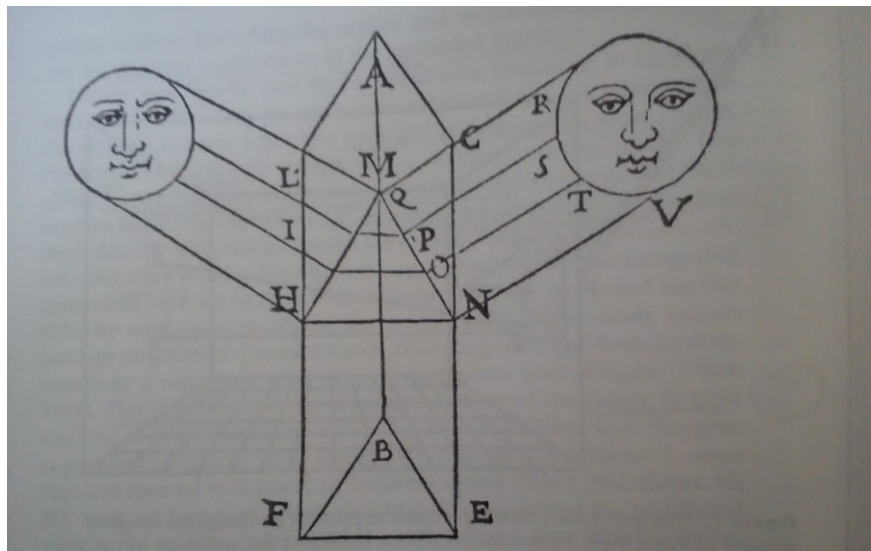


Figura 25 Representação da refração da luz do Sol da autoria de Della Porta (1535 - 1615).



Figura 26 Espectro alongado obtido por um grupo no ano letivo de 2011/2012.

Noutra situação, “perguntei o que [a aluna] misturava em ‘artes’ ao que ela respondeu com ‘cor’, misturava cor. Ora, a associação da cor ao objeto, ao material,

está muito presente. Claro que lhe disse que o que estavam a misturar ali era luz.” (DB, 11 abril 2013).

Demos a conhecer que a obtenção do espetro oblongo em Newton não era um processo não problemático. Em particular, o uso do prisma já era comum antes de Newton, mas não com o estatuto de instrumento produtor de fenómenos, antes de ilustração; por outro lado só através da colocação do prisma na posição de desvio mínimo, com a placa devidamente colocada e a distâncias razoáveis, é que é correto inferir que a luz é heterogénea (numa aproximação elementar ao assunto, como era exigido). No entanto ficámos por uma abordagem mais grosseira ao fenómeno da obtenção das cores prismáticas não referindo, em sala de aula, a posição do desvio mínimo como condição essencial para o desenvolvimento da argumentação. De facto, o que as alunas realizaram foi a manipulação do prisma após uma placa com um orifício muito pequeno (que pertencia à banca de ótica), e para a qual uma lâmpada emitia luz branca, ao mesmo tempo que uma placa era colocada na melhor posição para ver a luz já analisada. Que nós apenas tenhamos um registo fotográfico de um espetro bastante bom (Figura 26), é uma evidência da dificuldade que as alunas sentiram em manusear o conjunto de modo a obter o espetro.

Havíamos, no entanto, já introduzido a natureza ondulatória da luz, explicando que, por vezes, a luz se comporta como uma onda e explicitando as características básicas dos fenómenos ondulatórios. Em particular salientámos as grandezas típicas da luz visível, bem como de outras partes do espetro eletromagnético. A adoção deste processo foi um erro corrigido no segundo ciclo investigativo, pela eliminação da própria natureza da luz do conhecimento escolar.

De facto, e como já mencionámos repetidas vezes, a nossa abordagem à elaboração da TLS1, não incluía ainda uma problematização da cor nem das dificuldades que a introdução de grandezas fora da experiência humana iria provocar nas aprendizagens – aquilo a que Igal Galili (2000) identifica como premissas que servem de obstáculos à aprendizagem de ótica. Nomeadamente a dificuldade em interpretar o significado destas grandezas, por exemplo, comprimentos de onda da ordem dos nanómetros, bem como a possível realidade física destas ondas que apenas um trabalho mais duradouro com os/as alunos/as permitiria atingir, trabalhando e.g., a difração. O tempo gasto nestas atividades de ensino-aprendizagem, quando elas não iriam ser usadas para explicar nenhum novo fenómeno que não podia ser explicado pelas ferramentas da ótica geométrica já introduzidas ou a ser introduzidas foi outro fator que nos levou a considerar este passo da TLS1 um erro.

Separámos o trabalho com a cor em duas aulas laboratoriais distintas. Numa, trabalhámos a obtenção de cor por adição de luz (síntese aditiva) e noutra, trabalhámos

a obtenção de cor por subtração de luz (síntese subtrativa). Esta opção didática resultou das necessidades de aprendizagem identificadas e na tentativa dos/as alunos/as virem a identificar corretamente dois processos experimentais completamente diferentes e que no ensino tradicional são confundidos (Chauvet, 1996; Viennot & Hosson, 2012; Viennot, 2003).

Tanto no tratamento de uma como de outra, a atenção às condições ambientes era de grande importância, nomeadamente os/as alunos/as perceberem que havia sempre alguma luz que entrava pelas janelas, por mais que fechássemos as cortinas e que essa luz iria interferir com as cores percebidas, ou que luz dos candeeiros de outros grupos chegariam certamente a perturbar a atividade de cada grupo; procurámos também diversificar os procedimentos de subtração de luz: trabalho com ‘sombras’ coloridas (Figura 27) que fomos buscar a Goethe e que pela beleza que proporcionava poderia ser um fator de motivação, bem como a adaptação da experiência de Hooke, descrita por Newton na sua “Nova Teoria”:

Daqui é também clara a razão de uma Experiência inesperada que o Sr. Hook relata na sua *Micrographia* ter efetuado com dois recipientes transparentes em forma de cunha, cheio de uma solução vermelha, um, e azul o outro: a saber, ainda que separadamente eles eram suficientemente transparentes, ainda assim, juntos tornavam-se opacos. Pois se um transmite apenas vermelho, e o outro apenas azul, nenhum raio podia passar através de ambos.



Figura 27 Obtenção de ‘sombras coloridas’ usando três fontes de luz coloridas.

Quando trabalhávamos a síntese aditiva um/uma aluno/a viu e identificou uma sombra colorida:

De modo completamente inesperado o aluno (turma pratica de [terça]) viu uma sombra colorida. Ficou muito contente e admirado mas não explorou mais o assunto. Talvez devesse ter rompido o protocolo e explorado com ele o caminho que o entusiasmou. Mas não o fiz e agora tenho pena. A próxima aula vamos dedicar à síntese subtrativa e eu não queria misturar a síntese aditiva com a síntese subtrativa. (DB, 10 abril 2013)

Ora a necessidade identificada na TLS1, de não aglutinar numa mesma aula a síntese aditiva com a subtrativa, pois são fundadas em processos experimentais completamente diferentes, as quais, além do mais, pela similitude de representação gráfica são muitas vezes alvo de confusão, mas também devido a uma falta de maleabilidade didática da nossa parte – poderíamos eventualmente ter seguido um percurso mais individualizado com aquele aluno potenciando assim um processo de *inquiry* – deixámos a alegria e a admiração que reportámos esmorecer e assim, eventualmente, perder uma sequência de ensino mais rica para o aluno. Note-se que o aluno reparou na sombra colorida quando estávamos a adicionar luz, por ter interposto um lápis entre as fontes de luz coloridas e a placa, e não na aula seguinte onde trabalhámos exatamente esse processo.

Mas temos de reconhecer que as concepções sobre a cor são um fenómeno muito difícil de mudar. A certa altura no nosso diário de bordo escrevemos uma passagem que hoje achamos curiosa:

A [atividade da] síntese aditiva resultou apenas na medida em que de facto eles não foram capazes de responder consistentemente às cores resultantes. Foi uma ‘experiência negativa’ no sentido da de Michelson Morley, digamos assim. Uma aluna no entanto salientou de forma convicta: azul com vermelho dá castanho. *Salientei que a afirmação tinha sido importante e perguntei se ela estava a ver castanho. No entanto ela defendeu-se dizendo que foi o que aprendeu em ‘artes’; melhor: foi o que lhe ensinaram.* (DB 11 abril 2013) (ênfase nossa)

Aqui mostramos a nossa percepção de que o nosso ensino-aprendizagem resultou na medida em que as evoluções verificadas pareciam limitadas, concordando com o que a literatura reportava, em particular com a forte adesão (mais forte do que elevada) ao esquema cor-pigmento. Veja-se o modo como uma aluna, perante uma observação, se agarra a uma regra de mistura de pigmentos mesmo quando está a observar outra cor. Era como se estivéssemos no nosso ensino a desmentir o que os/as

alunos/as já tinham aprendido; como se estivéssemos a complicar um fenómeno simples: “azul com vermelho = castanho.”

Esta perceção de estarmos a criar um conflito onde nós não nos sairíamos bem pois confrontávamos concepções bem enraizadas e as alunas não viam “utilidade” imediata do que estava a acontecer para o seu futuro profissional – apesar de ser uma área com enorme possibilidade de trabalho – levou a que as aulas não tivessem a riqueza argumentativa que poderiam ter. Por fim, a introdução do arco-íris seguiu o procedimento de explicar a sua formação pelo que acontece numa gota de água.

Havíamos reparado no trabalho de Antonio de Dominis, que, com um balão cheio de água, (re)criou o arco-íris (Figura 28), tendo nós tentado uma repetição do procedimento. Enchemos um gobelé bastante grande (vê-se ao fundo na Figura 26) e aproveitando o dia de sol fomos para fora da sala de aula. Ainda que conseguíssemos formar o arco-íris, pensamos que foi uma atividade que não resultou.

Um primeiro obstáculo resulta de termos realizado esta atividade em grande grupo pelo que só alguns alunos mais próximos do gobelé poderiam observar o que se passava. Por outro lado, esta atividade só se torna significativa se a forma da distribuição das cores e a posição relativa do Sol for compreendida, o que é limitada pelo fator anterior. Por fim, o facto de necessitarmos de nos deslocar para o átrio da escola com o gasto de tempo inerente, foram fatores que não deram grande significado à atividade.

O arco-íris na *Opticks* de Newton ou a referência ao trabalho de António de Dominis por Newton.

“Este arco nunca aparece a não ser quando chove e faz sol, podendo ser feito artificialmente com água na forma de pequenas gotas que caíam como chuva. Ao iluminar essas gotas o Sol produz um arco que é visto por um observador desde que esteja colocado numa posição correta entre o Sol e a chuva. Atualmente todos concordam que este arco é produzido pela refração da luz do Sol nas gotas da água da chuva. Assim foi entendido por alguns antigos, sendo mais tarde completamente descoberto e explicado pelo famoso Antonius de Dominis, arcebispo de Spalato, no seu livro *De Raddis Visus & Lucis*, publicado pelo seu amigo Bartolus em Veneza, no ano de 1611. Aí se ensina como o arco interior é produzido nas gotas esféricas da chuva, por duas refrações da luz do Sol e uma reflexão entre elas, e o exterior por duas refrações e duas formas de reflexão entre elas em cada gota de água, e demonstra as suas explicações com experiências feitas com um frasco com água e com globos de vidro completamente cheios de água e colocados ao sol para provocar o aparecimento das cores do arco-íris. A mesma explicação foi dada por Descartes no seu *Meteoros*, melhorando a explicação do arco exterior. Mas, visto que eles não compreenderam a verdadeira origem das cores, é necessário prosseguir-la aqui um pouco mais. Para compreender pois como é feito o arco, representemos uma gota de água ou qualquer outro corpo esférico transparente pelo círculo (...)”

Antonio de Dominis (1566-1624) nasceu na atual Croácia, em território da então República de Veneza. Foi educado pelos jesuítas em Loreto e Pádua. Os contemporâneos descrevem-no como pretensioso, irascível e avarento. Quando era ainda um jovem padre, encontrou a explicação correta para o arco-íris que expôs no seu livro *Radiis Visus et Lucis* (Raios e Luz) escrito em 1591 e impresso em Veneza em 1611.

Estabeleceu a teoria da formação do arco-íris primário com base numa reflexão e em duas refrações da luz que ocorriam nas gotas de água da chuva. Os perspectivistas do século XIII como Grosseteste, Roger Bacon e Teodorico haviam, sem êxito significativo, tentado explicar o fenómeno.

Figura 28. Explicação do arco-íris por Newton e a sua referência ao trabalho de António de Dominis e Descartes sobre o assunto.

4.7.6 Problemas, dificuldades e recompensas: uma abordagem ao processo de ensino-aprendizagem e passagem para o segundo ciclo investigativo

Ainda que durante a exposição da primeira sequência de ensino-aprendizagem, tenhamos realizado comentários avaliativos, necessitamos agora de realizar uma breve análise, complementar da já efetuada, nomeadamente com ênfase na sua eficácia e limitações, de modo a informar a construção da TLS2 (Tabela 2-B).

No que respeita à cor, verificou-se um aumento das conceções corretas (categoria F) essencialmente através do desaparecimento de unidades de registo associadas à categoria E, a cor resulta de processos fisiológicos. Também constatamos uma ligeira diminuição da categoria A, a cor é uma propriedade do material, mas verifica-se um aumento das categorias B (A luz é um facilitador da visão e da perceção da cor),

que coloca a luz como facilitador mas não como causa, e C (As cores partilham com a luz algumas propriedades) a qual mais uma vez refere a luz.

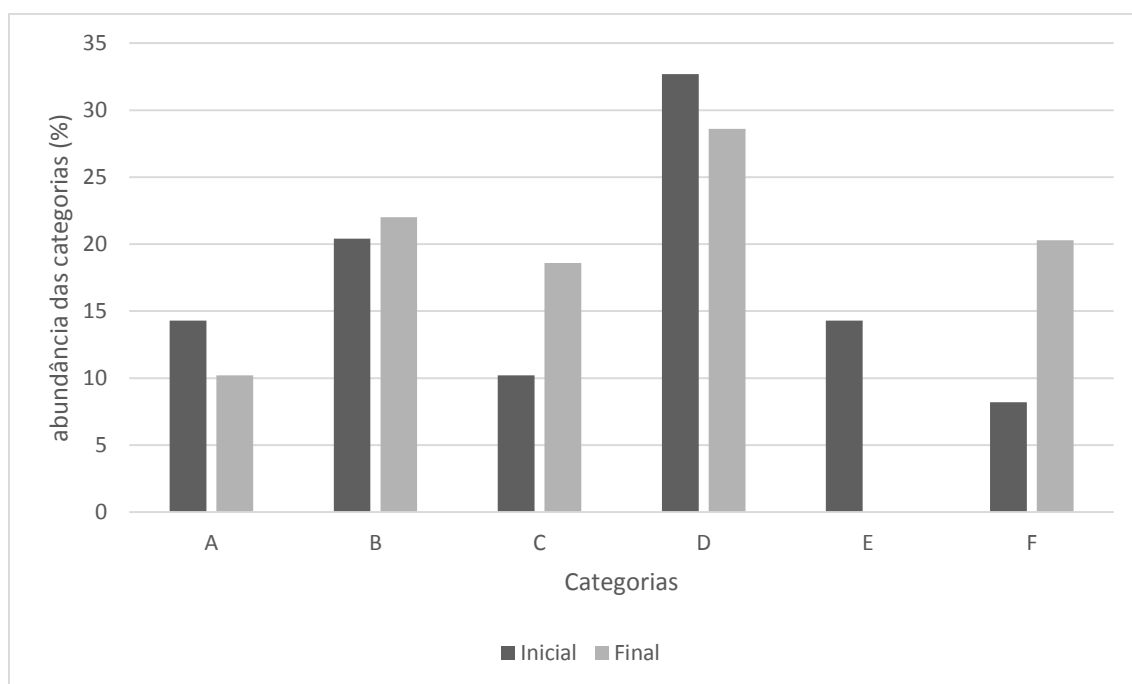


Figura 29. Cor: Evolução da abundancia de unidades de registo atribuídas a cada categoria antes e após a TLS1.

Assim parece ter existido uma deslocação disciplinar da fonte de recursos onde os alunos iam construir as suas explicações. Uma vez que nas aulas, nunca falámos, de modo significativo, nos aspetos fisiológicos do olho e da sua ligação ao cérebro, os alunos parecem ter deixado cair essa fonte de recursos explicativos que alimentava as explicações e que constituíam a categoria E. Por um lado deslocaram-se para a conceção correta (cerca de 10%) como foram alimentar outras categorias. De resto mantêm-se, como aliás era de esperar, uma forte presença das outras categorias, evidenciando a resistência das concepções alternativas.

Os esquemas do conhecimento da luz, visão e imagem, Figura 30, mostraram uma grande estabilidade, também como a literatura já referenciava. A diminuição da abundância de aspetos do conhecimento pertencentes aos esquemas D (Esquema holístico da imagem) e F (Esquema Sombra como imagem), devem-se essencialmente à diminuição de dois aspetos em cada esquema. No esquema D, o aspeto “A imagem está sempre presente no espelho, seja ou não observada” e no esquema F o aspeto “Não são previstas sombras parciais (penumbras)” diminuíram fortemente a sua abundância com a TLS1.

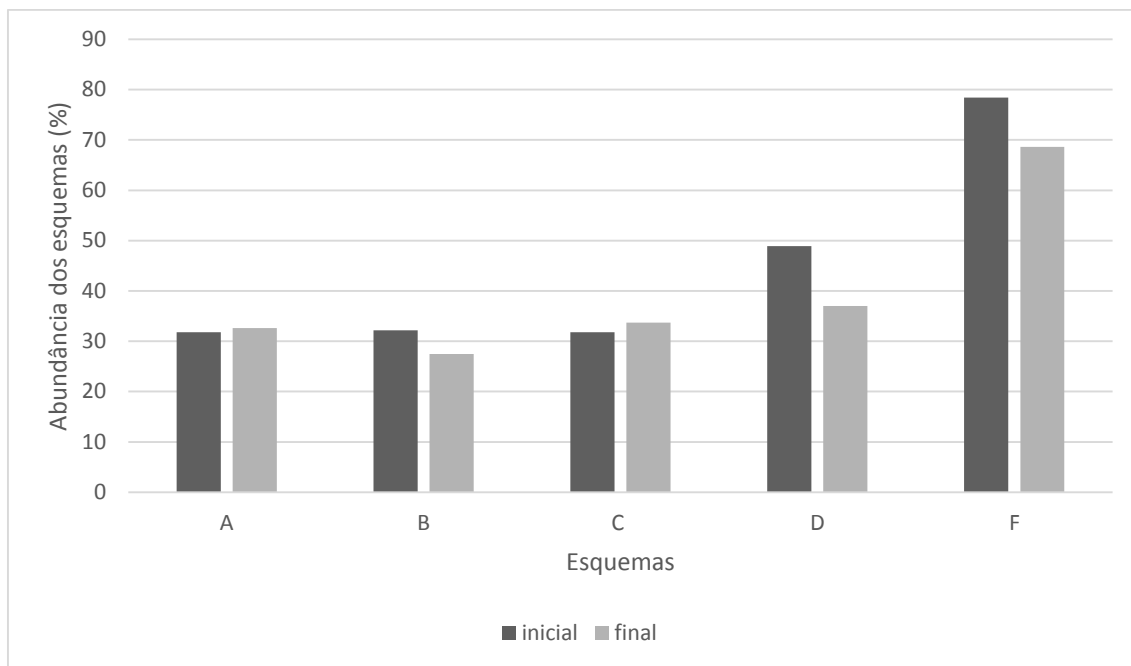


Figura 30. Evolução dos Esquemas com a TLS1.

Mas o que devemos salientar é a persistência de concepções alternativas com uma abundância (global) que pouco se alterou com o ensino-aprendizagem. Este resultado não nos surpreendeu dado o que a literatura refere, mas do que foi salientado na análise à TLS1 ficaram a descoberto várias deficiências bem como indicações de melhoria.

Um primeiro aspeto relaciona-se com a necessidade de abandonar a introdução de uma abordagem à natureza da luz e assumir que a TLS se desenvolve sem introduzir esse fator de complicação (Galili & Hazan, 2000). A ótica geométrica sem uma abordagem à natureza dual da luz é uma teoria com poder explicativo que por si só tem possibilidade de desenvolver nos alunos entendimentos corretos de aspetos fundacionais relacionados com a luz, a visão, a imagem, ou a cor. Aliás, sem estes aspetos discutidos de forma satisfatória que sentido existe para que se desenvolva um conhecimento sobre a natureza ondulatória ou corpuscular da luz com valores de comprimento de onda, de energia ou de frequência estranhos à percepção sensorial dos alunos?

4.8 O Segundo Ciclo Investigativo

Iremos agora analisar a implementação do segundo ciclo investigativo, seu desenvolvimento e resultados. A IA levou a que em vários domínios, nomeadamente, estratégias, recursos, etc., usássemos muito do que foi utilizado no primeiro ciclo

investigativo. Durante este processo, completámos vários dos recursos educativos, como textos de apoio informados pela HFC aos três grandes tópicos da UC, ótica, astronomia, e eletricidade e magnetismo e, resultante da reflexão realizada e nova análise de cada um dos aspetos que entram na construção da TLS, elaborámos a TLS2.

4.8.1 Identificar o conhecimento escolar a ser ensinado

O ensino-aprendizagem do primeiro ciclo investigativo revelou outra necessidade de aprendizagem. Esta necessidade de aprendizagem foi detetada pela relação existente do ensino-aprendizagem da ótica com o módulo subsequente, a astronomia, bem como pelo confronto com a literatura e concepções alternativas reveladas pelos alunos.

Galili e Lavrik (1998) referem que o tratamento didático usual da ótica geométrica coloca problemas para a explicação de outros fenómenos como e.g., as estações do ano. Fundamentados no abandono progressivo do conceito de fluxo de luz, Galili e Lavrik (ibid.) referem que se assiste nos livros de texto e na sala de aula, desde há uns anos, ao abandono de conceitos fundamentais para o a correta compreensão da existência das estações do ano.

De facto, estamos de acordo com Galili et al. (ibid.) pois há duas grandezas que não são distinguidas, e que não foram distinguidas na TLS1, a saber, fluxo luminoso e intensidade luminosa. (As coisas são um pouco mais complicadas e estes conceitos referem apenas a luz visível; ainda assim, e porque não queremos falar explicitamente de todo o espectro eletromagnético, o argumento usando estes conceitos é suficiente para que se dê um salto significativo na sequência de ensino.)

Fluxo luminoso é uma grandeza que depende apenas da fonte de luz e não do observador, enquanto intensidade luminosa é outra grandeza e depende apenas do observador ou recetor. O mesmo fluxo luminoso provoca diferentes intensidades luminosas dependendo de dois fatores em simultâneo: da distância à fonte e do ângulo da superfície recetora com a fonte de luz (Cf. texto de apoio sobre ótica, Apêndice E).

Uma análise qualitativa das respostas dos nossos alunos à pergunta que inquiria sobre as estações do ano, evidencia um conjunto de explicações que na sua esmagadora maioria, revelam o recurso à distância Terra-Sol como fonte explicativa das estações do ano. Outro tipo de explicações caem na inversão da própria questão: “Existem estações do ano, pois existem vários estados de tempo que caracterizam cada um deles. Ex: dias de calor e temperaturas mais elevadas no verão.” Q1_I30. Mas em geral é o fator distância que está presente e que confere com o reportado na literatura: “Devido à rotação de todos os planetas do Sistema Solar em torno do Sol, em que a

Terra, por haver meses em que está mais próxima do Sol, vai haver maior incidência de radiação solar do que noutros meses, em que está mais afastada.” Q1_I14 ou “As estações do ano existem devido aos movimentos de translação à volta do Sol” Q1_I40, sendo que a acompanhar a resposta a aluna representa uma órbita com grande excentricidade.

Assim é verão no hemisfério norte, não porque a Terra esteja mais próxima do Sol, como muitos alunos revelam nas suas concepções, mas porque o ângulo que a superfície da Terra no hemisfério norte faz com a direção do fluxo de luz vindo do Sol diminuiu relativamente à altura em que é inverno, recebendo mais luz do que no inverno (mantendo constante a superfície).

Ora, na sequência da UC, as estações do ano (e em geral, astronomia) são tratadas imediatamente a seguir ao tópico inicial de ótica, pelo que aproveitar esta situação para o desenvolvimento de recursos que permitam o aluno desenvolver as suas capacidades explicativas pareceu-nos uma alteração a introduzir na sequência de ensino-aprendizagem. De salientar que esta abordagem não muda a nossa concepção instrumental de “raio luminoso” como representando a direção e o sentido da propagação da luz.

Na abordagem à cor, mantivemos a separação em duas aulas laboratoriais distintas, onde trabalhámos a síntese aditiva e subtrativa, mas acentuámos a diversificação das condições de obtenção de cor. Em particular, utilizámos o ‘disco de Newton’, filtros, bem como um conjunto de materiais didáticos que entretanto foram completados. Nomeadamente foi neste segundo ciclo investigativo que completámos os nossos textos de apoio à UC e que constituem o Apêndice E. Composto por três textos (ótica, astronomia e eletricidade e magnetismo), formam um conjunto coerente sendo todos eles informados pela HFC. Esses textos foram de imediato disponibilizados aos alunos numa plataforma construída para o efeito pois na sua construção fazemos uso de alguns *hyperlinks*.

Antes de prosseguirmos, sentimos a necessidade de examinar uma situação que nos parece pertinente. Quando realizámos uma exposição deste projeto no III fórum de jovens investigadores organizado pelo IE a 4 e 5 de julho de 2012, o comentário de uma colega levantou a questão da possibilidade de realizar uma investigação-ação, i.e., que não fosse (apenas) uma investigação sobre as próprias práticas, em uma UC que era obrigatória. Ora esta questão prende-se com o grau de autonomia dos professores na definição do conhecimento escolar a ser ensinado. Conforme a nossa identificação dos constrangimentos que levam à transformação do conhecimento científico de referência em conhecimento escolar, a saber, tradição, prática profissional futura, constrangimento de tempo e unidades curriculares posteriores, a tradição desempenha um papel maior

neste conjunto. Por um lado, a nossa mudança é realizada a partir dela, com fundamento nessa tradição que nós próprios abraçamos. Por outro lado, os nossos colegas que têm a mesma UC tenderiam a manter o mesmo ensino-aprendizagem. Assim, estamos de acordo que a nossa mudança, como qualquer mudança, está à partida limitada pela tradição. Mas o comentário realizado, tanto quanto o compreendemos ia mais longe e questionava a própria possibilidade de mudança.

Ora, subjacente a esta posição, estava a ideia de um conhecimento escolar petrificado e único que seria lido por todos os que têm esta UC de igual forma ou mesmo de modo semelhante. O facto é que já na tradição, existiam opções tomadas, em geral referidas ao constrangimento tempo, onde algum conhecimento disciplinar era remetido ou para fora da ficha da UC ora para estudo autónomo. Este envio para estudo autónomo era, de facto, um envio dos conteúdos para fora do conhecimento escolar. A verdade é que representava uma avaliação implícita de que o conhecimento disciplinar enviado para estudo autónomo poderia ser alvo de uma decisão explícita de retirada do mesmo do âmbito do conhecimento escolar.

Dito isto, colocámos, de modo explícito a natureza da luz fora do conhecimento escolar e inserimos os conceitos de fluxo de luz e de intensidade luminosa. Esta questão foi discutida com os colegas e aceite como não levantando problemas no conjunto da UC. Assim construímos a sequência de ensino aprendizagem do segundo ciclo investigativo (TLS2) (Tabela 2-B) que resultou da identificação do seguinte conhecimento escolar a ser ensinado:

- Processo de visão: olho e sua anatomia, meio transparente, luz, propagação da luz, formação da imagem na retina, refração da luz;
- Imagem e objeto: formação de imagens por lentes, espelhos e câmara obscura (*pinhole*);
- Objetos opacos e translúcidos
- Reflexão em objetos opacos espelhados e reflexão difusa.
- Sombra e penumbra
- Luz branca e dispersão da luz
- Fluxo luminoso e intensidade luminosa (não presente na TLS1)
- Evidências, modelos: limites de validade.
- Explicação de fenómenos óticos
- Obtenção de cor adicionando luz (síntese aditiva) e subtraindo luz (síntese subtrativa)

4.8.2 Problemas, dificuldades e recompensas: uma abordagem ao processo de ensino-aprendizagem.

O início das aulas foi marcado pela disponibilização aos alunos de versões mais trabalhadas e finais de materiais didáticos numa página *web* que criámos para esse novo ano (Apêndice E). Estes três textos didáticos (Ótica, Astronomia e Eletricidade e Magnetismo), fortemente orientados na sua construção pela HFC, mas também com um forte conteúdo histórico, formam uma unidade e uma sequência.

Tanto quanto fomos competentes para o efeito e o tempo nos permitiu, tentámos desenvolver a abordagem diacrónica e transdisciplinar de Gerald Holton (1973) ao ensino das ciências. Ainda assim, temos a clara noção das deficiências dos textos e da possibilidade e necessidade de os desenvolver. Apenas consideramos os textos acabados, na medida em que foram os que disponibilizámos aos alunos no segundo ciclo investigativo, i.e., são textos acabados na medida em que estão inseridos numa investigação-ação.

A TLS2, no seu início, não muda significativamente relativamente à TLS1. Quando trabalhamos a câmara obscura registámos, no entanto, alguma alteração na avaliação das alunas relativamente ao primeiro ciclo investigativo.

A imagem na câmara obscura é sempre uma grande surpresa para elas. Hoje fiz duas práticas com a turma XX. O facto de verem “virada ao contrário” a chama da vela, e de quando se move a vela da direita aparecer a mover-se a imagem que está à esquerda cria uma ideia de novidade e de inesperado. A reação inicial, quando pergunto o que vêm é dizerem que são pontinhos. (DB, 4 fevereiro 2014)

Ou então, “No segundo turno das aulas práticas da turma X, a câmara obscura voltou a fazer furor. Uma aluna disse, de modo claro, que “estão ao contrário.” Foi a primeira a verbalizar.” (DB, 5 fevereiro 2014) Por um lado, verificamos novamente a ideia da observação descuidada que referimos na TLS1, mas aqui surgiu mais como observação realmente descuidada e rapidamente corrigida e não como uma observação acrítica.

Notamos de igual forma, tanto neste registo como na memória que retemos, uma disponibilidade diferente dos alunos do segundo ciclo investigativo para com o ensino-aprendizagem. (“Houve discussões interessantes. Uma aluna perguntou-me porque a imagem na retina era menor que o objeto. O que levou a [que eu recorresse] de concepções de entrada do objeto no olho (DB, 10 fevereiro 2014)” Este registo de existência de “discussões interessantes” está praticamente ausente do nosso registo e memória do primeiro ciclo investigativo.

Tabela 8

Categorização dos conhecimentos pertencentes ao conhecimento escolar a ser ensinado de acordo com a sua pertença a tipos de conhecimento (Alexander et al., 1991; Jong & Ferguson-Hessler, 1996)

Conhecimentos /Tipologia	Concetual	Metaconcetual	
		Processual	Estratégico
Evidências, limites do conhecimento, validade		Discussão	Discussão
Dispersão	Reconhecer e identificar	Produzir o fenómeno	
Leis da Reflexão e Refração	Conhecer	Reconhecer a aplicabilidade	Contextos de uso
Processo de visão	Conhecer	Construção da imagem na retina	Interdisciplinaridade
Luz		Representar a sua propagação	Discussão ontológica
Lente, espelho, prisma, câmara obscura	Reconhecer e identificar	Conhecer o manuseamento	Contextos de uso
Imagem	Identificar	Formação	Separar a imagem do objeto
Objetos opacos e translúcidos	Reconhecer e identificar	Classificação	
Sombra e penumbra	Reconhecer e identificar	Formação	
Luz branca	Conhecer	Análise prismática	O que é
Fluxo luminoso	Reconhecer	Propagação da luz	
Iluminância	Reconhecer		Limitações
Miopia e Hipermetropia	Reconhecer e identificar	Explicar	

Existem três fatores que podem ter contribuído para a menor predisposição para o envolvimento no processo de ensino aprendizagem dos alunos do primeiro ciclo investigativo relativamente ao segundo. Por um lado, a TLS1 foi realizada no fim do segundo semestre estando já os alunos a prepararem-se para os testes de outras UCs (“Nas aulas práticas não noto diferença. Aliás, esta semana tinham teste de história e de uma outra disciplina, pelo que em qualquer intervalo ou paragem dedicavam-se ao estudo de outra coisa que não a colocar possibilidades de experimentação.” (DB, 10 abril de 2013); por outro lado, herdei dos colegas que deram a componente de Geologia da UC grupos demasiado grandes (“Uma primeira ação é que tenho de reduzir o número de alunos por grupo. Há grupos de quatro, e têm de passar a três elementos. Esta distribuição veio do módulo de Geologia, onde havia material para todos mas não pode continuar em física. (DB, 14 de março 2013)”); por fim, houve uma grande

descontinuidade entre as 3,5 horas iniciais de ótica e as restantes que ocorreram após as férias da Páscoa, que nos trouxe outros problemas que vieram acumular:

Termos 3,5h antes da Páscoa e depois um grande intervalo foi um grande erro na distribuição horária que prejudicou o ensino. Nesse tempo eles não se inscreveram no wiki, pelo que tivemos de recomeçar após a Páscoa. Mesmo assim eles (elas, de facto; são quase todas alunas) iam levantando constantes problemas com a inscrição no wiki usando a plataforma wikispaces. A falta de competências tecnológicas de alunas do 2º ano de uma licenciatura é gritante. (DB, 20 abril 2013)

Estes três fatores: aproximação do fim do ano letivo, grupos de laboratório de quatro elementos e problemas derivados de uma interrupção letiva, foram aspetos que pesaram na forma, até certo ponto negativa, como os/as alunos/as encararam o ensino-aprendizagem no primeiro ciclo investigativo. Ora, estes fatores não existiram no segundo ciclo da IA. Os grupos eram mais pequenos, estávamos no início do semestre e as aulas tiveram continuidade académica, pelo que sentimos uma predisposição mais favorável ao desenvolvimento do processo didático.

Eventualmente haverá um outro fator que estamos agora a tomar consciência da sua existência. Ao desenvolvermos o segundo ciclo investigativo, temos a experiência acumulada do primeiro ciclo de investigação-ação, pelo que alguns processos didáticos estariam mais ajustados e alguma impaciência que evidenciámos e que no diário de bordo traduzi, por exemplo, pela frase: “A falta de competências tecnológicas de alunas do 2º ano de uma licenciatura é gritante. (DB, 20 abril 2013)”, já não ocorreram na implementação do segundo ciclo investigativo.

Retomando a exposição do desenvolvimento da TLS2, a introdução da diferenciação do fluxo luminoso com a intensidade luminosa foi uma atividade que revelou aspetos interessantes do pensamento das alunas:

A relação da intensidade luminosa com o ângulo foi muito interessante. Ontem, e em parte, hoje, as alunas tinham explicações diferentes para a diminuição da intensidade luminosa com a distância e para a explicação dessa diminuição com a diminuição do ângulo mantendo a distância. No segundo caso (diminuição com o ângulo) diziam, “mas isso é porque a luz se espalha” como se não tivessem observado isso na diminuição com a distância. Como se no caso da relação intensidade luminosa/distância fosse de esperar, fosse óbvio, não carecesse de explicação. (DB, 4 fevereiro 2014)

Ou seja, os alunos parecem recorrer a recursos de diferentes áreas para organizar uma explicação. Esta atividade foi realizada de modo qualitativo e usava uma

pequena lâmpada, uma placa e um suporte para manter a distância a uma zona da placa previamente definida. Assim, os alunos colocavam a fonte a uma distância que eles determinavam da placa e observavam o brilho (a intensidade luminosa) que classificavam qualitativamente. Depois afastavam a fonte mantendo a direção, e observavam que o brilho na zona predeterminada diminuía. Como o fluxo de luz era constante, a explicação era óbvia (espalhamento da luz por uma superfície maior) mas apenas foi verbalizada quando mantiveram a distância e mudaram o ângulo. Não sabemos porque apenas verbalizaram a explicação com a mudança do ângulo e não com a variação da distância, mas a nossa hipótese é que ao variar o ângulo era mais visível a fonte de luz a operar de modo a espalhar a luz; era como se a fonte de luz estivesse a trabalhar (a ser redirecionada), para espalhar a “sua” luz, numa conceção que atribui a luz à fonte respetiva e que identificámos muito na literatura.

De qualquer dos modos, como notámos “A separação entre fluxo e intensidade foi claramente uma boa solução, deixando portas abertas para uso posterior (...)” (DB, 5 Fevereiro 2014).

No tratamento da cor na TLS2, seguimos um caminho de reforço da separação temporal da obtenção de cor por adição e por subtração de luz, numa estratégia didática onde foi discutida de modo mais fundamentado a origem da expressão “sete cores do arco-íris”, em particular através da introdução do texto que Newton publicou na *Opticks* (Figura 31). De igual modo, na sequência do procedimento de diversificação de estratégias e procedimentos para obtenção do mesmo resultado, construímos um disco com as cores na mesma proporção que a indicada por Newton, e que utilizamos em sala de aula juntamente com o texto onde Newton explica a formação e função desta ordenação das cores.

PROP. VI. PROB. II.

Em uma mistura de Cores Primárias, dadas as Quantidades e Qualidades de cada uma, para conhecer a Cor Composta

«Com o Centro O e Raio OD, trace um Circulo ADF, e separe a sua circunferência em sete partes DE, EF, FG, GA, AB, BC, CD, proporcional aos sete Tons Musicais ou Intervalos de oito sons, *Sol, la, fa, sol, la, mi, fa, sol*, contida numa oitava, isto é, proporcional ao Número 1/9, 1/16, 1/10, 1/9, 1/16, 1/16, 1/9. Que a primeira Parte DE represente a Cor vermelha, a segunda EF laranja, a terceira FG amarelo, a quarta CA verde, a quinta AB azul, a sexta BC indigo, e a sétima CD violeta. E conceda que estas são todas as Cores da luz não composta gradualmente passando de uma para outra, como elas fazem quando feito com os Prismas; a Circunferência DEFGABCD, representa toda a Sucessão de Cores de um lado da Imagem colorida do Sol para o outro, de tal forma que de D para E apresente todas as gradações de vermelho, em E a Cor média [155] entre vermelho e laranja, de E até F todas as graus de laranja, em F a [cor] média entre laranja e amarelo, de F para G todos os graus de amarelo, etc.»

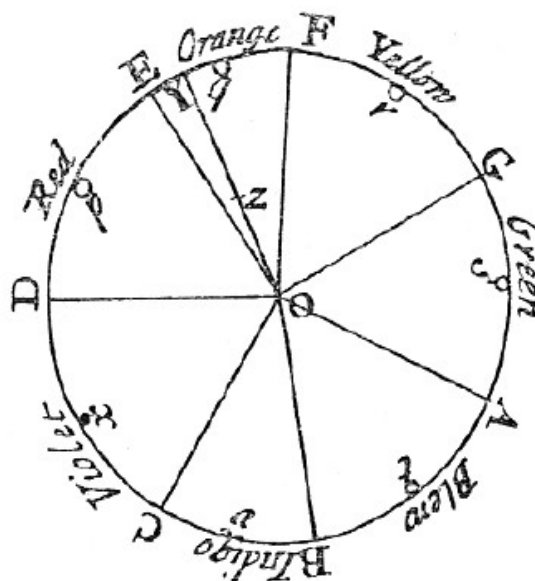


Figura 1. Corresponde à Figura 11 da *Opticks*, Livro I, Parte II, Plate III.

Figura 31. Tradução da proposição VI, problema II tal como apresentado por Newton na *Opticks* em 1704.

4.8.3 Problemas, dificuldades e recompensas: Uma análise do segundo ciclo investigativo

Vamos de seguida realizar uma breve análise da segunda sequência de ensino-aprendizagem (TLS2), sua eficácia e limitações e como esta compara com a TLS1 em termos de resultados.

A variação dos valores que podemos verificar no gráfico da Figura 32, tem apenas uma alteração com significado relativamente à variação verificada no primeiro ciclo investigativo e relaciona-se com a categoria B, “a luz é um facilitador da visão e da percepção da cor.” (cf. Figura 29). De facto, neste ciclo investigativo as unidades de registo atribuídas a esta categoria têm uma diminuição de 13%, enquanto no ciclo investigativo anterior esta categoria tinha resistido à instrução. A variação das unidades de registo atribuídas a outras categorias têm uma tendência de variação muito semelhante ao que se verificou no primeiro ciclo investigativo. De notar, no entanto, uma presença superior de concepções corretas revelada por uma maior abundância da categoria F.

Assim, por um lado podemos reforçar os nossos índices de fiabilidade sobre as categorias e processo de categorização adotado para a cor com a verificação de que com a TLS1 e com a TLS2 a variação da abundância das categorias se realiza no mesmo sentido, (com a exceção já mencionada). Por outro lado, a discrepância encontrada na categoria B merece ser averiguada.

Não podemos tirar conclusões perentórias sobre se a variação resultou da TLS2, cujo tratamento da cor sofreu uma melhoria que resultou da afinação de estratégias didáticas já antes implementadas na TLS1; de uma mudança que consideramos fundamental, a saber, implementação do tratamento didático da cor sem falar na

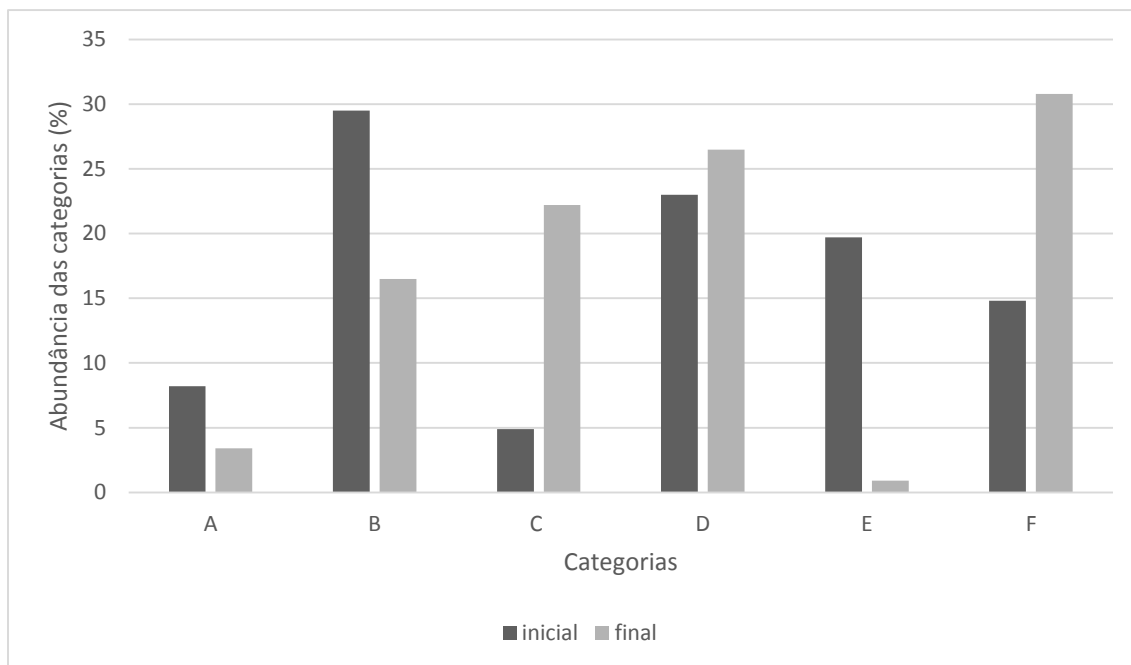


Figura 32. Cor: Evolução da abundância de unidades de registo atribuídas a cada categoria antes e após a TLS2.

natureza ondulatória da luz, ou se os alunos, neste ciclo, aparentemente mais recetivos ao ensino-aprendizagem desempenharam eles próprios um papel determinante dada a influência dos aspetos afetivos (recordamos a ênfase nos aspetos afetivos, que as teorias de mudança concetual valorizam para o sucesso do ensino aprendizagem.) Mas há poucas dúvidas que os fatores se reforçaram permitindo alcançar um resultado mais interessante.

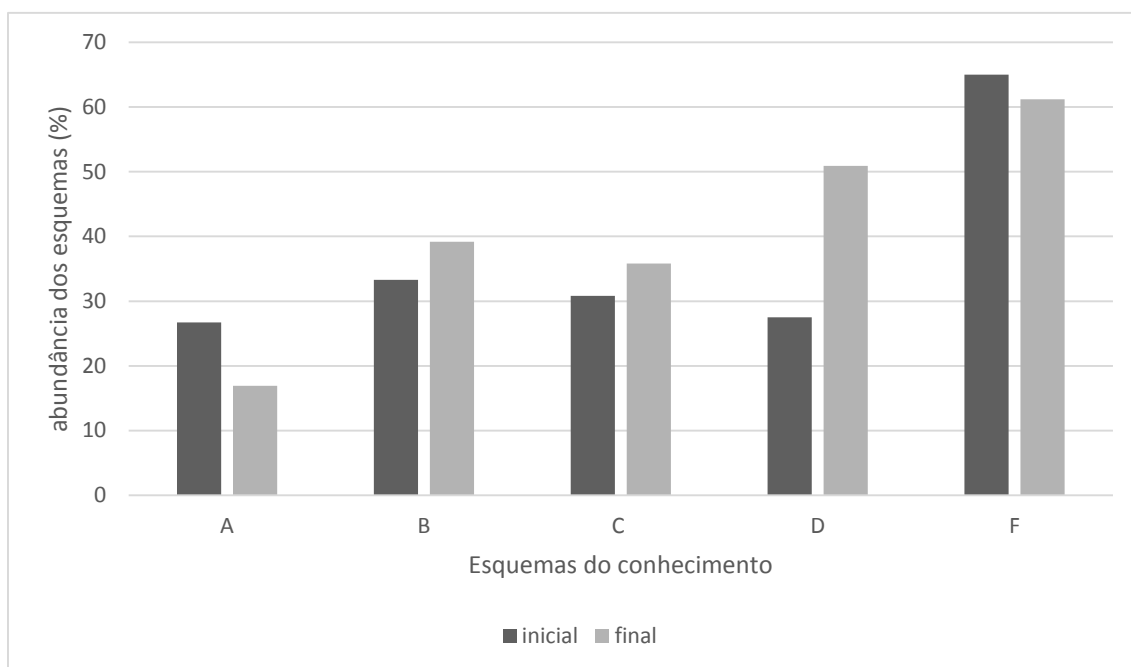


Figura 33. Evolução da abundância dos esquemas do conhecimento com o decorrer do segundo ciclo investigativo.

Se examinarmos a Figura 33, o que parece ocorrer é um aumento da abundância de quase todos os esquemas. No entanto, um olhar mais atento, revela ou uma estabilização geral da abundância dos esquemas, apenas com uma diminuição no esquema A, esquema da visão espontânea e um aumento da presença do esquema D, esquema holístico da imagem.

Recordamos que a abundância de cada esquema do conhecimento resulta de uma média sobre a abundância do conjunto de aspetos do conhecimento que o compõem. Também recordar que abundâncias iguais ou inferiores a 5% foram descartadas como irrelevantes. O esquema D que resulta da média dos aspetos pertencentes ao “Esquema Holístico da Imagem” (Tabela 9, Apêndice F) tem, antes da TLS2, quatro aspetos que contribuem para a média do esquema, e, após a instrução, esse esquema passa a basear-se em apenas dois aspetos.

Assim, se há um aumento da abundância média dos dois aspetos que se tornam o suporte do esquema de conhecimento, o facto do número de aspetos que constituem e sustentam esse esquema ter diminuído para metade significa que o esquema se tornou mais frágil, i.e., tratando especificamente esses dois aspetos numa intervenção didáctica subsequente levando-os à extinção, poderíamos eventualmente eliminar este esquema.

Vamos agora realizar uma análise comparativa da evolução dos esquemas com a TLS1 e a TLS2. Usando as tabelas do Apêndice F, podemos construir gráficos que nos permitem uma visualização da evolução de cada esquema com a TLS1 e a TLS2.

Comparando os gráficos da Figura 34, verificamos que o esquema da visão espontânea tem um comportamento semelhante nas duas sequências de aprendizagem, com a evolução de cada um dos aspetos a sofrer, de um modo geral, desvios em igual sentido, mantendo uma presença significativa mas já diminuída com a instrução.

O esquema B (Figura 35), esquema corpóreo da luz, e o esquema C (Figura 36), esquema da luz-lanterna, mantêm tanto na TLS1 como na TLS2 uma forte presença e resistência ao ensino-aprendizagem, com uma variação global irrelevante. Olhemos agora para a Figura 37..

Antes do primeiro ciclo investigativo (TLS1), o esquema holístico da imagem era constituído essencialmente pelos aspetos do conhecimento 4-2 e 4-14, tendo os restantes uma presença residual. Após a instrução, são os mesmos aspetos que se revelam, ainda que o aspeto 4-2 tenha conhecido uma evolução positiva, permitindo um abaixamento da abundância do esquema (Figura 37). Por outro lado, na TLS2, inicialmente, o esquema era constituído por quatro aspetos com peso superior a 5%, o que ajudou a que a média tomasse um valor significativamente mais reduzido, dado que a abundância do aspeto 4.2 continuava a ser preponderante. Uma evolução da abundância de aspetos no segundo ciclo investigativo que levou ao desaparecimento dos aspetos 4-4 e 4-5 com evolução semelhante no aspeto 4-14 fez com que a abundância do esquema ficasse determinada pela média de apenas dois aspetos, como aliás se manteve no primeiro ciclo investigativo. Deste modo a evolução do esquema D, considerado pela representação gráfica da Figura 37, é compreensível num quadro de manutenção de concepções.

Por fim, analisamos o esquema F (Figura 38), sombra como imagem. Este tem uma evolução muito semelhante nos dois ciclos investigativos, ainda que na TLS1 possamos dizer que o ganho de instrução no aspeto 6-8, que se relaciona com a capacidade de representação de zonas de sombra e de penumbra tenha sofrido uma evolução positiva, enquanto na TLS2 se manteve essencialmente estável.

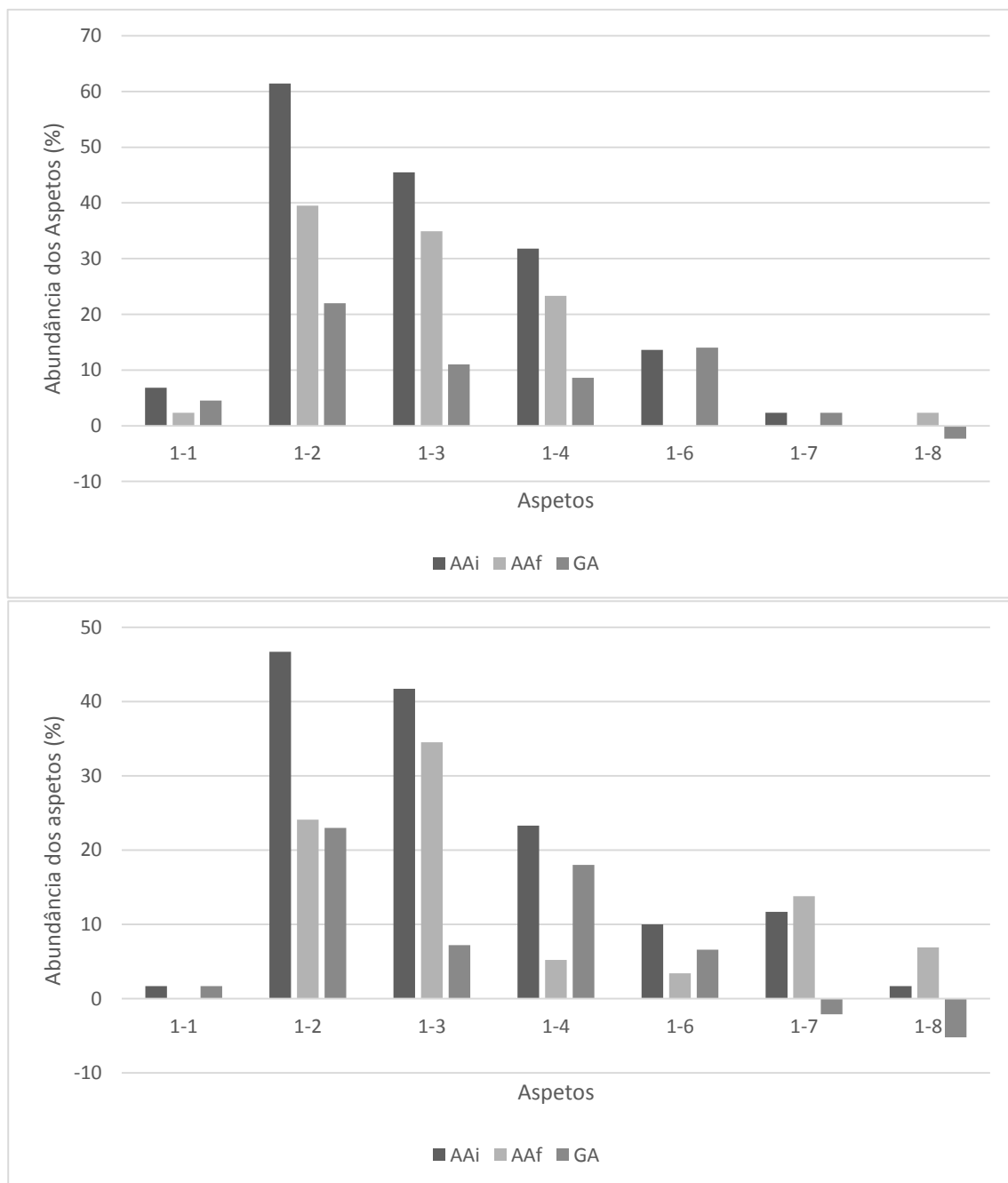


Figura 34. Abundância dos aspetos do esquema A, Esquema da Visão Espontânea na TLS1 (em cima) e na TLS2 (em baixo).

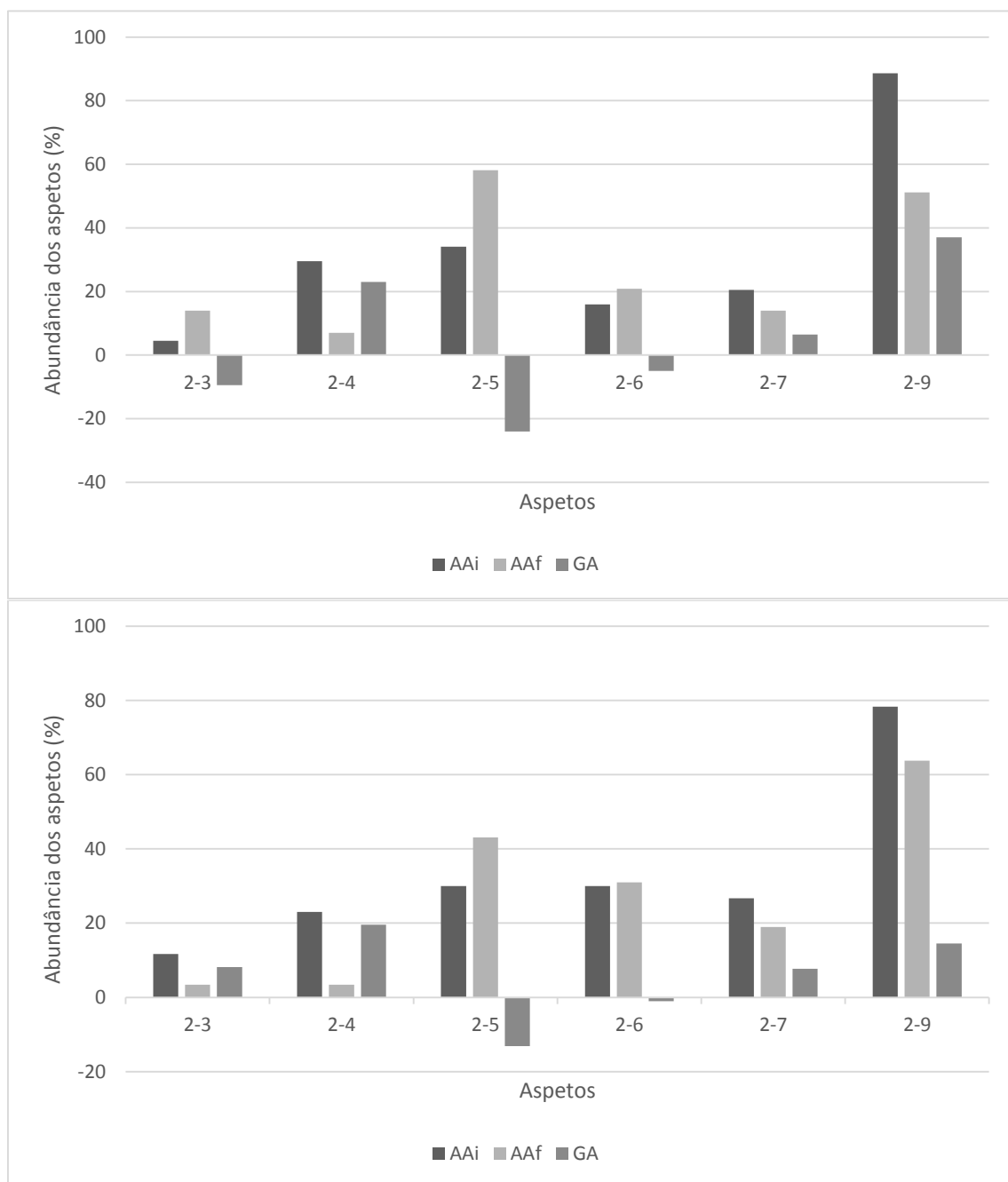


Figura 35. Abundância dos aspetos do esquema B, Esquema Corpóreo da Luz na TLS1 (em cima) e na TLS2 (em baixo).

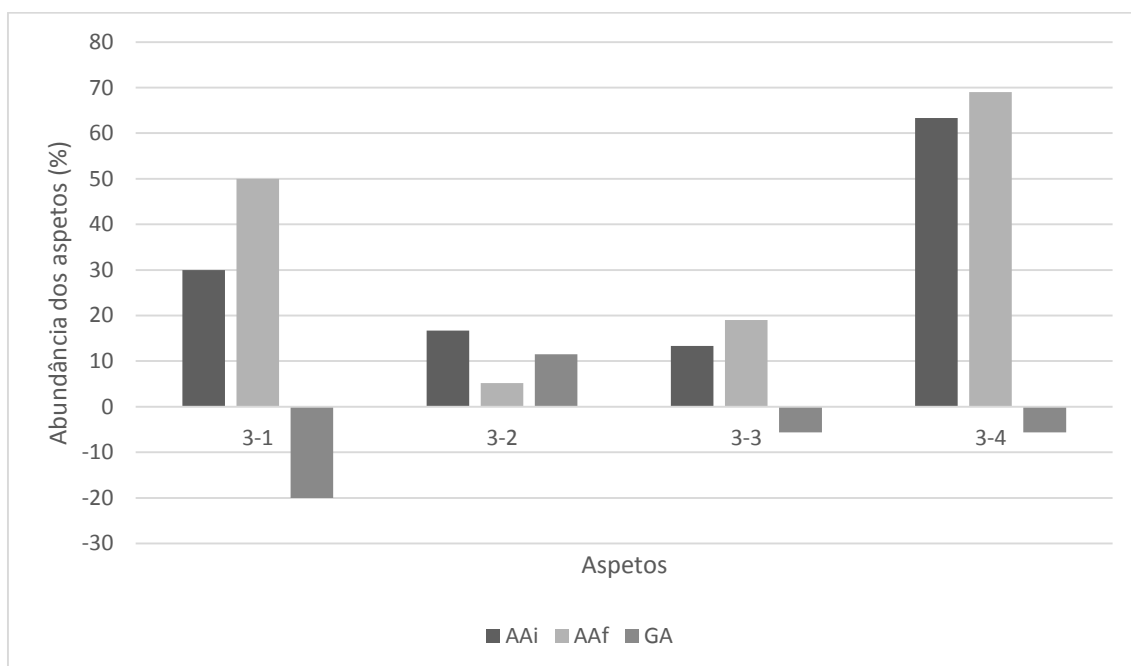
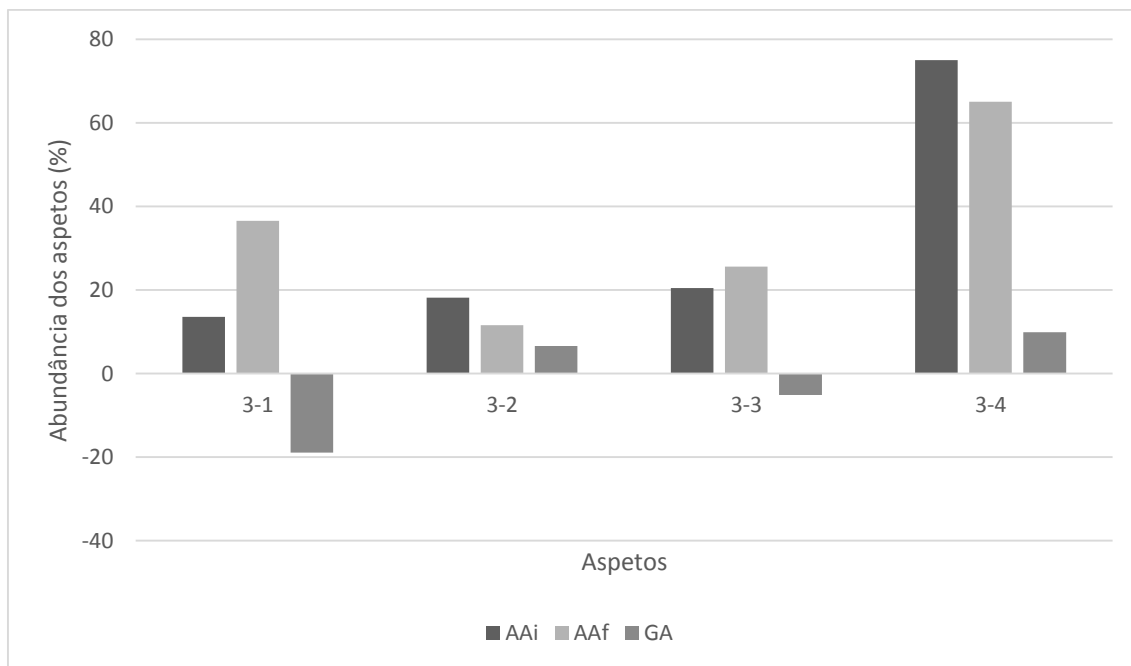


Figura 36. Abundância dos aspetos do esquema C, Esquema de Luz-lanterna na TLS1 (em cima) e na TLS2 (em baixo).

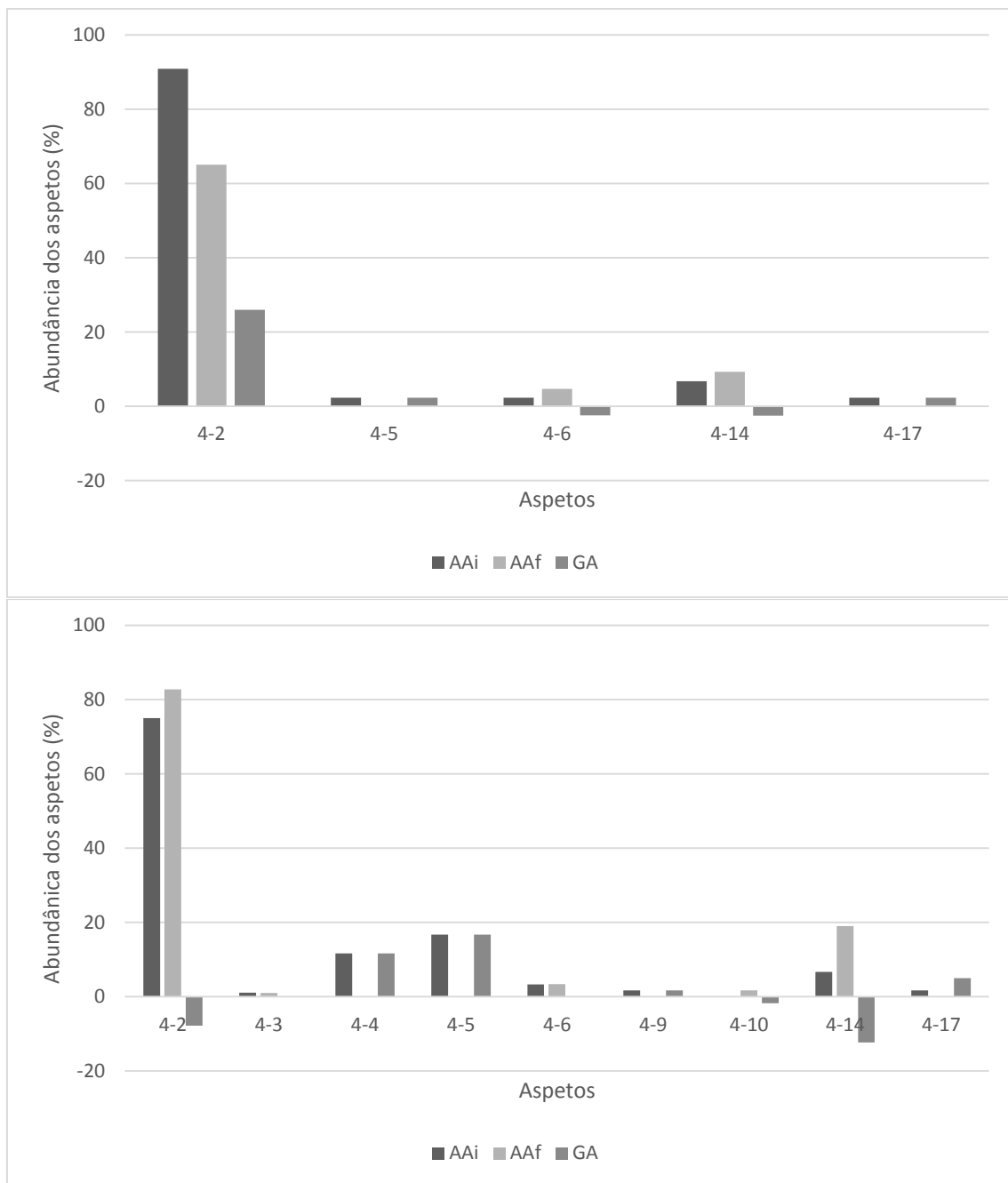


Figura 37. Abundância dos aspetos do esquema D, Esquema de Holístico da Imagem na TLS1 (em cima) e na TLS2 (em baixo).

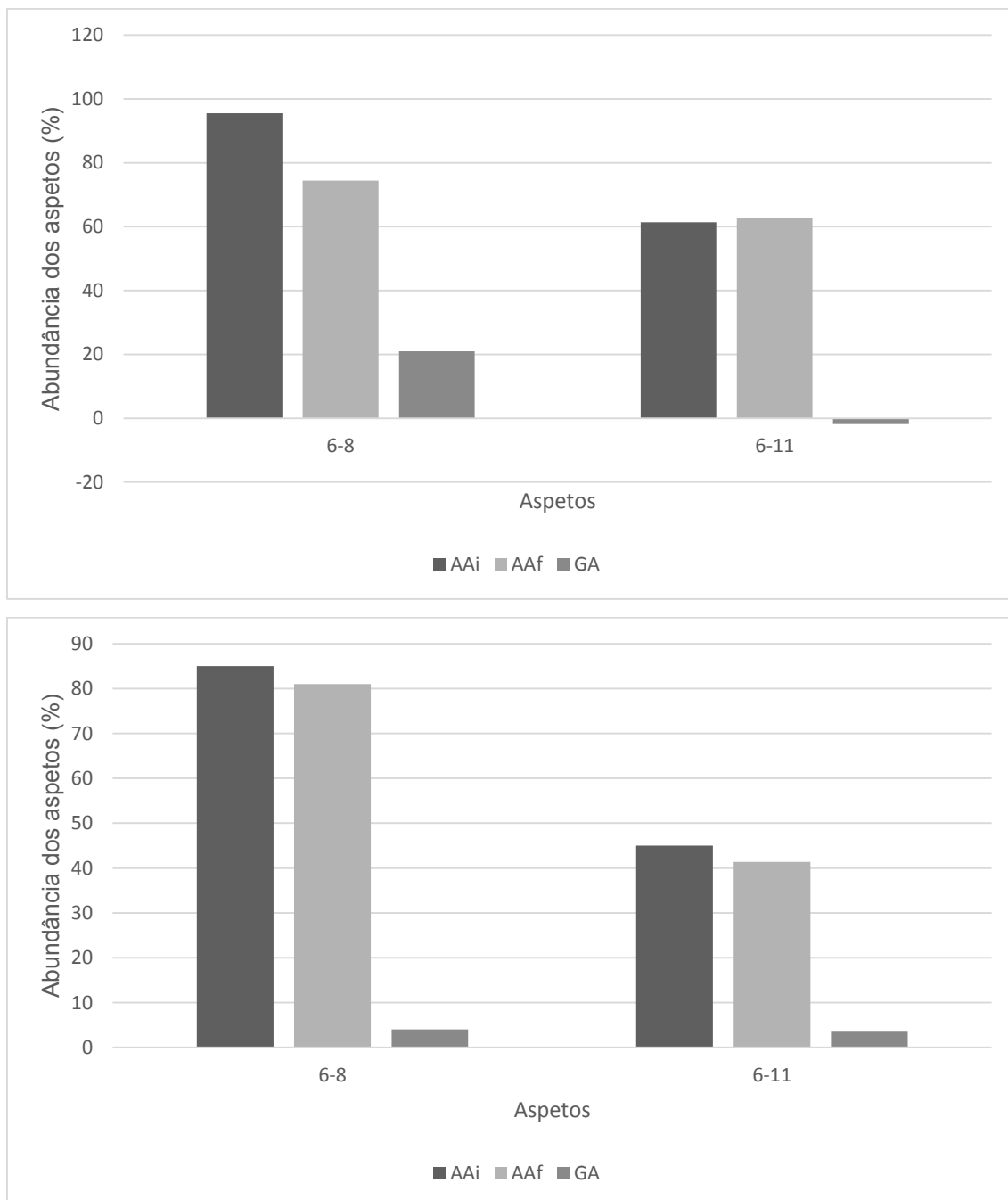


Figura 38. Abundância dos aspetos do esquema F, Esquema Sombra como Imagem na TLS1 (em cima) e na TLS2 (em baixo).

4.9 Em Torno do *Inquiry*, da Natureza da Ciência e das Problemáticas Sócio-científicas: em Direção a um Ensino Humanizado

Definimos um ensino humanizado, no âmbito do nosso estudo como um ensino da ciência com HFC, centrado no aluno, contextualizado, baseado no *inquiry*⁴³ (Abd-El-

⁴³ Temos noção que o ensino por *inquiry* é fonte de sérios problemas e de confusões (Hodson, 2014; Sato, 2014), mas continua a ser um objetivo/estratégia relevante da educação em ciências, que, estando, em muitos sentidos, ligado ao construtivismo (R. D. Anderson, 2007,

Khalick et al., 2004; Anderson, 2007) e no qual se aprenda sobre a natureza da ciência (Allchin, 2013; Clough, 2000; Lederman, 2007; Matthews, 2009; McComas & Olson, 2000) e estejam presentes controvérsias sócio-científicas (Kolstø, 2001; Levinson, 2006; Reis & Galvão, 2004a, 2004b). Interessa ver, como a nossa prática pedagógica evoluiu (ou não) no sentido da integração destes elementos.

Mais do que a presença deste ou daquele aspeto – que não deixa de ser relevante e que será tido em conta – é o modo como conseguimos, e até que ponto conseguimos, realizar alguma integração que se torna mais relevante. O tempo de ensino-aprendizagem não é dividido em blocos estanques como o tempo letivo, sendo antes um *continuum* onde têm lugar tanto variadas estratégias de ensino-aprendizagem bem como como variados objetivos. Em simultâneo, vemos como as controvérsias sócio-científicas podem ser relevantes para o ensino da natureza da ciência (Reis & Galvão, 2004b) ou como esta se relaciona com o ensino-aprendizagem por *inquiry* (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Lederman, Antink, & Bartos, 2014), ou ainda, como este está intimamente ligado à nossa abordagem global ao processo de ensino-aprendizagem, o construtivismo social (Anderson, 2007): aparentemente, só na integração em sala de aula é que as diversas conceptualizações ganham substância e sentido.

Para efeitos operacionais a nossa abordagem ao *inquiry* é a que Anderson (2007, p. 822) apresenta no seu quadro onde retrata duas orientações extremas, ou idealizadas, relativas ao ensino. Uma, tradicional, onde o professor “dá a matéria”, o estudante é um “recetor passivo” e realiza atividades que o professor desenhou. Outra, onde o *inquiry* está presente. Nesta última o professor tem um papel de facilitador enquanto o papel do aluno é o de dirigir a sua própria aprendizagem ao mesmo tempo que determina as (suas) atividades de ensino-aprendizagem. Nunca é demais salientar o carácter extremo e idealizado destas listagens que tipificam a presença ou ausência de *inquiry*.

Na primeira aula teórico-prática (TP), a presença de discussão como modo de introduzir a “necessidade de especialização disciplinar e interdisciplinaridade em ciência. O caso da visão” e de análise e discussão das “representações esquemáticas”, foi indiciador que quando realizámos a TLS1, a discussão como estratégia deveria ser um caminho a seguir no ensino-aprendizagem e que as questões referidas estavam ligadas à natureza da ciência – pelo menos no modo mais amplo como Michael Matthews (2009) a conceptualiza. No entanto, num olhar mais fino, verificamos que a

p. 821) se integra num ensino em que o professor assume uma posição/ação diferente da tradicional em sala de aula (Abd-El-Khalick et al., 2004; R. D. Anderson, 2007; Bunterm et al., 2014).

discussão, a exposição e o *inquiry* mantiveram uma presença equilibrada ao longo do ensino-aprendizagem e ao longo dos dois ciclos investigativos. O uso de modelos em ciência foi alvo de exposição, enquanto a relação entre refração e dispersão assim como a formação de imagem usando uma lente biconvexa e depois, um espelho côncavo foram desenvolvidas através de *inquiry*. Nestas atividades os alunos não só tinham que determinar a posição relativa do objeto, instrumento e placa/ecrã, como saber se o que estavam a obter era uma imagem do objeto. Curiosamente o problema de discernir luz projetada ou refletida no ecrã de uma imagem, não se revelou um processo direto.

Estas e outras atividades de ensino-aprendizagem em várias ocasiões começavam como atividades por *inquiry* pouco estruturadas e acabavam por adquirir um elevado nível de estruturação. Como exemplo temos a obtenção do espectro oblongo, onde as alunas tinham uma fotocópia com a montagem experimental que Newton publicou na *Opticks* e sabiam o percurso da luz num prisma, pois já havíamos trabalhado esse assunto, mas, ou nunca tinham contactado com um prisma, ou não repararam na posição invertida que ele tinha de assumir, ou então, se obtivessem o espectro na mesa ou em qualquer outro lugar, julgavam estar a obter um resultado análogo, o que exigiu uma intervenção muito ativa da nossa parte, quase a guiar as mãos das alunas, ou, muitas vezes a substituí-las pelas minhas. Por fim, com o aproximar do fim das aulas a minha intervenção aumentava e o grau de autonomia dos alunos diminuía. Este padrão não sofreu alterações significativas com o evoluir do tempo.

Mas se o nível de ensino-aprendizagem por *inquiry* se manteve num nível baixo, a natureza da ciência foi adquirindo um peso cada vez mais relevante. Na nossa planificação (Apêndice B) e no ensino-aprendizagem, questões de ordem metaconceituais foram abordadas desde o início:

- Necessidade de especialização disciplinar e interdisciplinaridade em ciência. O caso da visão; (modos de progresso em ciência);
- Representações esquemáticas (idealização em ciência);
- Visionamento de filme no *wiki* (sobre a contribuição de Kepler para a compreensão do funcionamento da luneta de Galileu e do mecanismo da visão, bem como o enquadramento histórico do trabalho em ótica no início do século XVII) (HC);
- Trabalho com a câmara obscura + 2 velas/grupo. Pedir se conseguem obter evidências de como se propaga a luz (evidências como suporte ao desenvolvimento da argumentação);
- Uso de modelos em ciência;
- Refração e dispersão da luz: explicar o observado na aula prática (a explicação

em ciência);

- Ler e discutir o texto de Newton (Texto 1) no *wiki*; (argumentação, evidências);
- Observação da refração e dispersão usando um gobelé grande com água, fonte de luz branca e ecrã (Observação dirigida, educada);
- Descrever evidências do comportamento ondulatório da luz (evidências);
- Síntese subtrativa. (Caixa com líquido azulado, caixa com líquido vermelho: verificar que os dois, separados são transparentes. Colocar um líquido colorido vermelho dentro do outro vaso com líquido azul e explicar o que se vê (Hooke; N 9 3084) (HC)

A presença da natureza da ciência e da HC foram particularmente relevantes nos nossos textos de apoio (Apêndice E). Completados no segundo ciclo investigativo, são veículos onde a ciência escolar, como a determinámos anteriormente, está embebida e ganha força com o desenvolvimento do trabalho concreto dos filósofos naturais e cientistas. No mesmo âmbito, o texto de Newton de 1672 é um trabalho que mostra a ciência a ser realizada: hipótese, experiência, lei, teoria, argumentação, evidência, observação, análise, síntese: tudo parece fervilhar no texto de Newton. E se os alunos ganharam apenas na medida em que o leram (ou os excertos que apresentámos), nós ganhámos na medida em que o trabalhamos.

Por fim, as controvérsias sócio-científicas foram desenvolvidas de modo muito limitado. Como afirmam Pedro Reis e Cecília Galvão (2004b) as controvérsias sócio-científicas parecem ter impacto na (ou em):

- “Construção de uma cultura científica essencial a uma cidadania ativa”;
- “Construção de um conhecimento significativo para a vida em sociedade”;
- “Motivar os alunos e estimular a sua curiosidade”;
- “Promover o desenvolvimento intelectual dos alunos desenvolvendo, por exemplo, as suas capacidades de pensamento crítico”;
- “Promover o desenvolvimento moral dos alunos através da clarificação de valores”
- “Construir uma conceção de ciência como uma atividade humana, influenciada por valores (...)”
- “Mudar a conceção de ciência como um assunto bem definido, com respostas rígidas e rápidas sem espaço para incertezas, dúvidas ou debate.” (p. 167)

Estes resultados do desenvolvimento do ensino-aprendizagem com controvérsias sócio-científicas sobrepõem-se, em parte significativa, aos resultados reportados ao ensino com HFC, mas existem aspetos que aqui parecem ganhar maior ênfase: a questão dos valores em ciência e na sociedade e do desenvolvimento moral

dos alunos podem ganhar com a abordagem de controvérsias como o desequilíbrio de género em vários domínios da atividade social, a “utilidade” dos gastos com a exploração espacial e a definição de prioridades nas distribuições de recursos, a problemática da energia nuclear/energia “limpa”, a escassez de água potável em muitas zonas do planeta e o aquecimento global e como a humanidade lida com o problema.

No nosso estudo, abordámos duas controvérsias sócio-científicas no tópico astronomia e na eletricidade e magnetismo, no quadro que Pedro Reis (2013) as delimita:

As controvérsias sócio-científicas (...) consistem em questões suscitadas por interações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente que dividem a sociedade e relativamente às quais diferentes grupos de cidadãos apresentam explicações e possíveis soluções que são incompatíveis, baseadas em crenças, compreensões e valores incompatíveis. Estas questões não conduzem a conclusões simples e envolvem uma dimensão moral e ética (p.1)

Trabalhamos, nomeadamente, os recursos energéticos e a sua escassez, no quadro do módulo da eletricidade e magnetismo, com ênfase para a perda de energia pelo efeito de Joule no seu transporte desde a sua produção até nossas casas e a exploração do sistema solar no quadro mais global de um empreendimento científico essencialmente cooperativo e aglutinador dos esforços técnicos e humanos de múltiplos países. Não o fizemos, no entanto de modo exaustivo, e não recolhemos dados que nos possam informar sobre os seus efeitos. No entanto, pela repetição – não foi o primeiro ano que discutimos estes temas com os nossos alunos e pelo interesse suscitado, a inserção da controvérsia sócio-científica em sala de aula revela-se como uma estratégia que pode ser trabalhada, com êxito contribuindo para a transformação do ensino-aprendizagem.

4.10 O Caráter Colaborativo e a Disseminação de Resultados

A investigação-ação em educação – e aqui estamos a recuperar o que explicitámos na metodologia – está associada a uma conceção de investigação colaborativa e transformativa. Segundo Kemmis e McTaggart (2000, p. 595) a ênfase colocada na investigação-ação como processo colaborativo varia de autor para autor. Frequentemente, a investigação-ação é entendida como um processo solitário de autorreflexão sistemática. Esta vertente está sempre presente em qualquer processo de investigação e portanto na investigação-ação. Mas esta é melhor conceptualizada como um processo colaborativo pois é “direcionada para o estudo, reenquadramento e

reconstrução de práticas” (id., ibid.) que são, pela sua própria natureza, sociais.

Ora, no nosso estudo, o processo colaborativo, como pressentíamos desde o início esteve associado mais a uma prática educacional que por si mesma é social do que ao envolvimento de outros atores no processo de transformação.

Dois motivos faziam-nos antever esta situação. Um primeiro relacionava-se com o próprio trabalho investigativo que tinha uma componente de transformação pessoal muito forte. Como é óbvio, esta transformação existe na sua relação com o que havia antes, mas também com o modo como nos relacionamos com o processo de ensino-aprendizagem, com os outros professores da escola e com a própria escola onde desenvolvemos esta investigação: é também vendo os outros que nos vemos a nós mesmos. O professor-investigador, que ganhou em nós uma espessura que não tinha, e o professor reflexivo (Alarcão, 1996b, 2001; Zeichner, 1993, 1996; Zwozdiak-Myers, 2012) desenvolveram-se num caminho de reforço mútuo. Acompanhamos Isabel Alarcão (2001) quando afirma:

não posso conceber um professor que não se questione sobre as razões subjacentes às suas decisões educativas, que não se questione perante o insucesso de alguns alunos, que não faça dos seus planos de aula meras hipóteses de trabalho a confirmar ou infirmar no laboratório que é a sala de aula, que não leia criticamente os manuais ou as propostas didáticas que lhe são feitas, que não se questione sobre as funções da escola e sobre se elas estão a ser realizadas. (p. 6)

Ainda segundo Isabel Alarcão (1996b), que caracteriza a reflexão como um processo simultaneamente lógico e psicológico, que “combina a racionalidade da lógica investigativa com a irracionalidade inerente à intuição e à paixão do sujeito pensante” (p. 175), o movimento do professor reflexivo ressurgiu com o fracasso de formações de “caráter tecnicista ou mecanicista” e a revalorização dos processos cognitivos e da “dimensão humana na aprendizagem.” Ora, nas próprias preocupações que levaram ao desencadear da investigação, não esteve outra coisa senão a procura da dimensão humana no nosso próprio ensino de ciências e que conceptualizámos na revisão da literatura pela epistemologia de Gerald Holton. Já Lawrence Stenhouse (1967) no início do movimento professor reflexivo lançava a preocupação indicando um caminho:

É interessante, portanto que os professores comecem a ser educados como profissão especializada ao mesmo tempo que as escolas estão a ser solicitadas para educar as crianças simplesmente como pessoas. (...) Idealmente, penso eu, os professores deveriam ter um treino particularmente intenso como ‘pessoas’, mas não sabemos realmente como dar tal treino. (p.63)

Mais à frente, Stenhouse (1967) afirma:

Idealmente, um professor que deseje seguir as linhas que sugeri deve ter um domínio do conteúdo como um graduado por uma universidade e ao mesmo tempo um discernimento prudente e uma sensibilidade para o trabalho criativo como a do melhor professor de artes. (...) (p. 150)

Assim ganha sentido que o nosso trabalho de investigação-ação tenha uma componente autorreflexiva que o percorreu e foi ganhando espaço na nossa formação enquanto professor investigador.

No âmbito de um conjunto de seminários organizados pela escola para apresentação dos trabalhos de doutoramento dos seus professores, em curso ou recentemente concluídos, participámos em um deles em novembro de 2012. O que na altura foi para nós significativo, foi a reação dos professores de outras áreas do conhecimento. Uns exteriorizaram mais uma ideia de sentido do projeto: como nos conheciam, a mudança paradigmática que revelávamos já nessa altura, com uma ênfase nas metodologias interpretativas e críticas em rompimento com o nosso ponto de partida empirista, em conjunto com o propósito transformador, fazia-lhes sentido; dava uma ideia de unidade.

Quanto aos professores que davam a UC connosco, o que existiu foi mais uma disseminação de recursos com a existência de alguma apropriação do que um envolvimento em algum processo: câmara obscura, e 'disco de Newton' passaram a ser usados nas aulas; o tratamento da cor passou a ser alvo de uma discussão mais ampla, os nossos textos de apoio foram dados a conhecer e partilhados.

A estratégia de disseminação dos resultados passou também pela participação em congressos e seminários bem como o envio de resultados preliminares para revistas com *referee* e atualmente em revisão. Participámos em vários congressos nacionais e internacionais que mostra o nosso trabalho como parte de um processo maior e muito rico de transformação da educação e do ensino-aprendizagem.

Capítulo 5

Discussão e Reflexão

Neste capítulo pretendemos organizar uma reflexão sobre os resultados obtidos na nossa investigação. Tendo sido constituída como uma investigação-ação em educação, iremos aqui explorar a estreita ligação entre processos e resultados bem como o nosso desenvolvimento (transformação) enquanto professor-investigador.

Os resultados serão analisados à luz das questões de investigação e do problema de investigação mas também os confrontaremos com o que é reportado pela literatura. É nesta ação global de olhar criticamente para os resultados sobre estas duas perspetivas que eles ganharão significado.

5.1 Reconfiguração dos Compromissos Epistémicos e Ontológicos

O nosso trabalho desenvolveu-se em torno de resultados que podemos tipificar em três aspetos distintos e interligados: a) reconfiguração dos compromissos ontológicos e epistemológicos enquanto professor-investigador, b) processos de ensino-aprendizagem e c) aprendizagens cognitivas e metacognitivas dos alunos. Estes três tipos de resultados ligam-se pelo uso da HFC num processo de investigação-ação. Por outro lado, e relacionado tanto com a tipificação dos resultados como com a organização deste trabalho, os resultados não são um produto final mas sim parte do próprio processo investigativo.. Para efeitos de clareza de leitura, colocamos novamente o nosso problema de investigação e questões que o operacionalizam:

Como a introdução da História e Filosofia das Ciências (HFC) nas práticas de ensino na formação inicial em ciência de educadores e professores do 1º e 2º Ciclo do Ensino Básico contribui para um ensino da ciência humanizado?

Este problema foi operacionalizado pelas seguintes três questões de investigação:

1. De que modo a HFC modificou a nossa posição teórica relativa ao ensino-aprendizagem e compromissos ontológicos e epistemológicos enquanto professor-investigador?
2. Quais os processos utilizados na transformação das práticas de ensino em direção a um ensino das ciências com HFC?
3. Qual o impacto das alterações das práticas de ensino em direção a um ensino das ciências com HFC nos conhecimentos conceptuais, processuais e de contexto dos alunos?

Para clarificação de termos no âmbito do nosso estudo (§ 1.2), um ensino da ciência humanizado é um ensino com História e Filosofia da Ciência (HFC), centrado no aluno, contextualizado, baseado no *inquiry*, que tenha como objetivo de aprendizagem a natureza da ciência e onde estejam presentes controvérsias sócio-científicas.

Organizámos a discussão dos resultados na forma narrativa (Clandinin & Rosiek, 2007; Galvão, 2005; Polkinghorne, 1988) pois ilumina melhor a natureza intrincada dos processos e dos resultados neste nosso trabalho sendo suscetível de fornecer respostas mais ricas perante o tema do nosso trabalho.

A investigação desenvolveu-se ao longo de dois ciclos investigativos como uma investigação-ação em educação (Carr & Kemmis, 2009; Kemmis & McTaggart, 2000, 2006) com o objetivo de superar as nossas práticas de ensino-aprendizagem do seu caráter transmissivo e descontextualizado em direção a um ensino-aprendizagem humanizado. Assim, um fator relevante e que se constituiu como condição necessária para o desenvolvimento da investigação, foi a identificação e tomada de consciência das nossas práticas de ensino-aprendizagem e de como elas estavam informadas por um quadro teórico oculto, não explícito, que dirigia as nossas práticas. Convém então relembrar como concetualizámos a relação entre a teoria e a prática em educação e como se constitui um problema teórico e um problema prático neste campo do conhecimento.

Para Wilfred Carr e Stephen Kemmis (1986), o termo “teoria educativa” refere teoria que guia uma prática em educação, pelo que uma “atividade teórica dedicada explicitamente a influenciar a prática educativa, só o pode fazer através da influência sobre os quadros teóricos em função dos quais essas práticas são inteligíveis.” (pp. 115,116) Assim, “sujeitando as crenças e justificações de tradições existentes e em desenvolvimento a uma reconsideração racional, a teoria informa e transforma a prática, informando e transformando os modos segundo os quais as práticas são experienciadas e compreendidas”. Desta forma, Carr e Kemmis (1986) concluíram que a relação entre teoria e prática não é de que a teoria implica ou é derivada ou reflete a prática, mas que a transição não ocorre de todo de teoria para prática, mas antes da “irracionalidade para a racionalidade, da ignorância e hábito para o conhecimento e reflexão.” (p. 116) Neste sentido, concluem Carr e Kemmis (ibid.):

Se a teoria educativa é interpretada deste modo, fechar a lacuna entre teoria e prática não é matéria de melhorar a eficácia prática dos produtos da atividade teórica, mas antes de melhorar a eficácia prática de teorias que os professores usam na concetualização das suas próprias atividades (p. 116)

Esta conceitualização da relação entre teoria e prática em educação foi desde muito cedo adotada por nós na nossa investigação. A tomada de consciência dos quadros teóricos que orientavam a nossa prática revelou as limitações fundamentais desta, que não se prendiam com questões de eficácia no ensino-aprendizagem, mas com a irracionalidade ou ação-não-pensada que desenvolvíamos.

Assim, a identificação e consciencialização das nossas práticas de ensino-aprendizagem que referimos anteriormente resultou de uma tomada de consciência dos quadros teóricos que as enformavam e das limitações e problemas que estas enfrentavam. O empirismo, a filosofia espontânea do cientista (Althusser, 1990), deu lugar a uma crítica transformadora dos nossos compromissos ontológicos e epistémicos, e à adoção de uma prática de professor reflexivo (Alarcão, 1996b, 2001; Schon, 1987) informado por um quadro teórico construtivista (Duit & Treagust, 1998; Duit, 1995; Garrison, 1995; Gil-Pérez et al., 2002; Kubli, 2005; Leach & Scott, 2003; Marina, 1995; Moraes, 2003).

O nosso próprio desenvolvimento ao longo da investigação enquanto professor reflexivo, levou a considerar as fortes críticas a que o construtivismo estava sujeito (Matthews, 1992a, 1994, 2002; Osborne, 1996; Phillips, 1995) bem como a desenvolver uma posição muito próxima do construtivismo social expressa por John Leach e Phil Scott (2003) – e onde o trabalho de Fritz Kubli (2005) sobre Bakhtin, Vygotsky e o dialogismo se integrou de modo a reforçar esta abordagem que estávamos então a adotar. Também as críticas de, por exemplo., Phillips (1995) e de Jenkins (2000) ajudaram-nos a encontrar pontos de sustentação onde os nossos novos compromissos epistemológicos se ancoraram. Neste âmbito, os trabalhos de Gil-Pérez et al. (2002) e de Duit (1995) pareceram trazer alguma ordem e (re)colocar o debate no campo da investigação da educação em ciência⁴⁴:

O que chamamos de abordagem construtivista em educação em ciência é uma proposta que contempla a participação ativa dos estudantes na construção do conhecimento e não a simples reconstrução pessoal de conhecimento previamente elaborado, fornecido

⁴⁴ Parece-nos que muitos dos problemas que encontramos referidos na literatura reportando ao construtivismo, resultam de i) versão radical, essencialmente promovida por von Glasersfeld (Tobin, 2007; von Glasersfeld, 1995) e que e.g., Gil-Pérez et al. (2002) recusam como autor com influência na educação em ciência. Pelo menos com a influência que os críticos do construtivismo lhe atribuem. De facto, tendemos a concordar com Gil-Pérez et al. (2002) pois o trabalho de von Glasersfeld aparece muito tarde nos anos 80 e ii) abordam a influência e consequente diversificação e complexificação das abordagens construtivistas na história, estudos feministas, estudos sociais da ciência, entre outros, enquanto nós nos centramos na educação em ciência. Compreendemos melhor Matthews (2002) (frase irónica: “o construtivismo tornou-se a versão educativa da ‘teoria da grande unificação’ e um pouco mais”) depois de ler o texto de von Glasersfeld (1995). A nossa abordagem construtivista é muito cautelosa e restrita ao âmbito da educação.

pelo professor ou pelo livro de texto (p. 561)

Por fim, as teorias de mudança conceitual, seja a *framework theory* de Vosniadou e Skopelliti (2014) ou a teoria do conhecimento em pedaços de diSessa et al. (2004), as “teorias intuitivas” de Susan Carey (2009) muito semelhantes às propostas de Vosniadou e Skopelliti, ou ainda as propostas de Michelene Chi (2008) de mudança conceitual por mudança “lateral” de categoria ontológica, deram origem a um conjunto de investigações em torno da forma como o conhecimento é construído com o ensino-aprendizagem, que reforçam as linhas fundamentais da posição construtivista que referimos anteriormente.

Ao fim destes anos, a nossa posição teórica relativa ao ensino-aprendizagem e compromissos ontológicos e epistemológicos enquanto professor-investigador são outros (Primeira questão de investigação). O professor reflexivo em que nos tornámos era o único que podia desenvolver uma investigação-ação que não fosse uma investigação sobre a própria prática (Ponte, 2002), que estivesse para além de uma investigação sobre a prática, i.e., de uma investigação onde o professor-investigador e as teorias que informam a sua prática não permanecessem ocultas.

Deste modo, o professor-reflexivo, que não é o mesmo que a aquisição de uma componente reflexiva no professor previamente existente, foi um processo resultante de um trabalho de destruição de hábitos. De facto, no dizer de Isabel Alarcão (1996b) e seguindo John Dewey, ser professor reflexivo implica o desenvolvimento de uma “forma especializada de pensar”, ou seja, “implica uma perscrutação ativa, voluntária, persistente e rigorosa daquilo que se julga acreditar ou daquilo que habitualmente se pratica” (p. 175) ou então, conclui, “é ter a capacidade de utilizar o pensamento como atribuidor de sentido.” (ibid.) Alarcão (ibid.) salienta de seguida que esta conceitualização realizada por Dewey coloca a reflexão como rutura com o ato de rotina, com o hábito. Assim, se o nosso processo investigativo implicou uma rutura com o hábito, a constituição como professor reflexivo não foi imediata nem está acabada. Além do mais, não estava pré-determinada à partida: foi alvo de uma escolha consciente e que esteve ligada ao processo de investigação-ação que começávamos a desenvolver.

Ora, Isabel Alarcão (1996b) coloca a emergência do professor reflexivo “como resultado do fracasso de certas abordagens de formação com carácter mais tecnicista ou mecanicista que desativavam a reflexão e frustravam o humano” (p. 175), portanto como resultado de deficiências nos processos formativos. Por seu lado Kenneth Zeichner (1996) vê a emergência do professor reflexivo como “uma reação contra as crescentes tentativas dos governos (...) de centralizar o controlo das escolas e instituições de formação de professores.” (p. 199) Ambos estarão certos. No entanto parece-nos que

Donald Schön (1983) oferece uma explicação mais forte e claramente mais interessante para o nosso trabalho.

A Racionalidade Técnica, de acordo com a qual uma atividade profissional, é uma atividade de solução de problemas pela aplicação de teorias e técnicas científicas, que de acordo com Schön (ibid.) é uma epistemologia da prática que orientou a conceção de profissão no mundo ocidental com raízes profundas no século dezanove. De facto, num outro trabalho que desenvolvemos (Covelo et al., 2012) vamos encontrar a fundação da profissão de professor de educação primária em Portugal exatamente num quadro positivista de “Regeneração”, “Progresso” e “fé na Ciência”:

A formação de professores para o ensino primário em Portugal estabelece-se de forma continuada com a entrada em funcionamento da Escola Normal para o sexo masculino em 1862 em Marvila e quatro anos depois da sua congénere para o sexo feminino no Calvário. Processos paralelos desenrolavam-se no restante continente europeu [quando] algumas ideias centrais percorreram os círculos intelectuais e políticos da época conhecendo o auge com a implantação da República. Referimo-nos às ideias de 'Regeneração', 'Progresso', 'fé na Ciência' e nas possibilidades regeneradoras da educação, [sendo que] estas ideias não se [constituíram como] uma especificidade portuguesa. (p. 5538)

Com a Guerra de 1939-45, o enorme desenvolvimento científico na primeira metade do século XX, o desenvolvimento social e económico e os problemas sócio-científicos, ambientais e políticos, a importância para a prática profissional de fenómenos como a complexidade, incerteza, instabilidade ou os valores, que não se ajustam à Racionalidade Técnica (Schon, 1983) levou a um esgotamento desta e ao desenvolvimento da reflexão-na-ação como paradigma dominante na prática profissional – não é assim um acaso a publicação em 1967 do livro de Lawrence Stenhouse (1967) que lançou o movimento professor reflexivo. Para Isabel Alarcão (1996a), “por detrás da epistemologia da prática que Schön defende está uma perspetiva do conhecimento, construtivista e situada, e não uma visão objetiva e objetivante como a que subjaz ao racionalismo técnico.” (p. 17)

Deste modo o professor-reflexivo não é uma moda (Alarcão, 1996b; Zeichner, 1996) (apesar de também o ser) mas sim uma exigência ou um objetivo de um professor em formação, como o são todos os professores; como foi o nosso neste processo investigativo.

5.2 Os Processos Utilizados Para um Ensino Humanizado

A tapeçaria de Gerald Holton (1973, 1978) descrita em §2.5.1 orientou a realização dos materiais didáticos, e em particular dos três textos de apoio que resultaram do nosso processo. Conforme afirmámos acima (cf. §2.5.1) a tapeçaria a que Holton (1978) alude é aquela construída por um ensino onde um conceito, lei ou teoria é ensinado realizando ligações com conceitos, leis ou teorias temporalmente precedentes e/ou sucedâneas bem como estabelecendo ligações entre áreas do conhecimento diversas.

Assim, a HFC permitiu-nos identificar e clarificar ligações que antes permaneciam ocultas. Em cada texto de apoio existem conceitos, leis, teorias ou filósofos da natureza que são partilhados também por outro texto ou nele participam, voltando a ser referidos num outro contexto e/ou lugar geográfico ou temporal. Por outro lado, referências estéticas e de organização da ciência estão, sempre que possíveis, presentes, densificando esta teia de relações que é a ciência. Por fim, alguns *themata* foram particularmente desenvolvidos (Holton, 1973) (e.g., a atribuição a Newton do *thema* harmonia que o fez dividir o espectro da luz branca em sete cores correspondentes aos sete tons musicais.)

Este foi um primeiro eixo em que a HFC foi utilizada no nosso ensino: a organização e desenvolvimento de textos e outros materiais de estudo e apoio ao estudo (Segunda questão de investigação). Um outro eixo relaciona-se com o seu uso para a construção das sequências de ensino-aprendizagem. Estas, que tiveram como quadro concetual o esquema adaptado de Leach e Scott (2002), foram construídas a partir da crítica ao ensino-aprendizagem existente (tradição), sendo que esta crítica foi fortemente influenciada pela relação entre o conhecimento dos alunos sobre ótica na forma como ele é conceptualizado no dia-a-dia, e o que a história da luz e da cor, que estudámos em dois momentos distintos, nos diz sobre a construção do conhecimento ótico: conceitos mais persistentes ao longo da história, ruturas e continuidades, estratégias e instrumentos. Não usamos a epistemologia genética de Piaget, mas não fomos indiferentes à persistência de concepções que mostram os alunos adultos a representarem algo a sair do olho, ou a atribuírem à cor uma materialidade que Empédocles também atribuiu, e que persistiu na filosofia natural até Newton, ou a mostrarem grande aderência ao transporte da imagem como um todo, como réplica do objeto, que apenas Kepler já no século XVII resolveu com inteiro sucesso.

Assim, o uso instrumental da HFC (Allchin, 2013; Rudge & Howe, 2009) para a estruturação das sequências de ensino-aprendizagem foi um processo que não antevíamos no início mas que acabou por prevalecer no nosso ensino-aprendizagem.

5.3 Os Conhecimentos Concetuais, Processuais e de Contexto dos Alunos

No processo investigativo a terminologia evolui e na altura em que escrevemos esta parte do trabalho, temos dúvidas se dividir os conhecimentos em concetuais (de natureza cognitiva, essencialmente conceitos, leis e teorias), processuais (de natureza cognitiva e/ou metacognitiva, e.g., representações gráficas, manuseamento de instrumentos, reconhecimento de processos, etc.) e de contexto (de natureza cognitiva e/ou metacognitiva e.g.: estratégico, segundo a classificação de Jong et al. (1996) e histórico) será a melhor solução. Mas precisamente porque o nosso pensamento sobre o assunto foi evoluindo e não encontramos uma abordagem claramente melhor que justifique alteração, retemos a abordagem que estabelecemos no início da investigação e que no essencial corresponde a um uso (com adaptações) de como o conhecimento é investigado na literatura em educação (Alexander & Judy, 1988; Alexander et al., 1991; Jong & Ferguson-Hessler, 1996).

O conhecimento de contexto dos alunos de âmbito histórico, não foi objeto de investigação em qualquer dos ciclos investigativos. Desde o princípio não era nosso objetivo ensinar história da ciência. (Esta frase, não nos deve entretanto iludir de um resultado do nosso processo investigativo: a HC deve ganhar espaço na formação inicial de educadores e professores.) No entanto podemos adiantar com grande grau de fiabilidade que os textos de apoio, as referências em sala de aula, outros tipos de textos, *videoclips* e outros recursos disponibilizados, criaram nos nossos alunos algum grau de conhecimento histórico. Numa das entrevistas focais (GF, 15 de abril 2012), inquirimos sobre o ensino da história disciplinar em algumas UCs. Em geral, a história do campo de estudo, tanto quanto podemos perceber, está ausente em muitas unidades curriculares, mas quando questionámos:

PM: e na sociologia e na literatura?

Aluno/a1: na sociologia nós temos mesmo... Acho que nós... Não é nós queremos conhecer... *Nós temos mesmo de conhecer [a história]. É assim... Está assim no curriculum.*

Aluno/a 2: sim.

Aluno/a 1: Temos que conhecer para depois...

Aluno/a 2: perceber.

Aluno/a 1: perceber mais à frente como é que nós vamos trabalhar, conhecer diversas mentalidades. Digo sociologia como psicologia, em geografia hum... Geografia temos de conhecer como é que era antes.

Aluno/a 2: hum, hum!

Aluno/a 1: Para perceber as diferenças que há agora. E... E assim acho que é em todas as disciplinas.

Por um lado, vemos que em Sociologia têm mesmo de conhecer a história dessa área do conhecimento “porque está assim no currículo”, mas os alunos avançam com um argumento de defesa dessa estratégia: é necessário conhecer para perceber. O que nos parece muito interessante e, para sermos consequentes, não há motivo para este raciocínio não se estender às UCs de ciências. Além do mais, um pouco mais à frente na entrevista (GF 15 abril 2012):

PM: O que vocês estão a dizer é que talvez fosse interessante recolocarmos as experiências que foram feitas em termos históricos...

Aluno/a 1: sim, eu penso que sim

Aluno/a 2: [acena que sim]

[pausa]

Aluno/a 1: voltando à pergunta do professor relativamente aos cientistas portugueses, hum... Eu estava aqui a pensar e não me lembro, sinceramente, de alguma vez numa aula de ciência ter falado de um cientista português...

Aluno/a 2: ou se falámos até não era muito relevante.

Aluno/a 1: pois, se calhar foi só dar o nome, descobriu X, mas não há aquela relevância.

O/a aluno/a ficou a pensar sobre a pergunta que lhes coloquei atrás sobre se conheciam cientistas portugueses. De algum modo deu também a resposta: se foram mencionados ao longo da escolaridade obrigatória, e certamente o foram, afirmamos nós, não foram devidamente contextualizado para obter “relevância.” Assim o conhecimento de história da ciência era certamente muito baixo, pelo que o uso, ainda que instrumental, apenas pode ter levado ao incremento de alguma literacia neste domínio.

Quanto ao conhecimento concetual, processual e de contexto - nomeadamente o estratégico, i.e., conhecimento de processos que são evocados conscientemente para facilitar a aquisição e utilização de conhecimento (Alexander et al., 1991), os resultados apontados no §4 parecem indicar a permanência global de um nível elevado de conceções alternativas.

O esquema da visão espontânea (ver acontece naturalmente como resultado da presença do olho) sofre uma degradação significativa da sua abundância e em particular quase todos os aspetos que o compõem têm abundâncias diminuídas após a instrução, o que parece indicar que é um esquema suscetível de poder, com o tempo e as estratégias adequadas, vir a ser quase eliminado. Já o esquema corpóreo da luz (luz é reificada) e o esquema da luz-lanterna (raios individuais são emitidos de cada ponto da fonte de luz) apresentam fortes resistências à instrução, com resultados particularmente insatisfatórios no esquema da luz lanterna. Este esquema é constituído por aspetos

como “Luz passando através de uma pequena abertura tem a forma de um feixe cônico que se abre (espalha) gradualmente em direção ao ecrã.” Ou “Quando é indicada luz a ser emitida de uma fonte de luz, são representadas linhas retas que saem radialmente da fonte. Cada raio sai de um ponto da fonte”, que indicam uma concepção essencialmente pré Alhazen da reflexão da luz por corpos opacos ou da emissão de luz por fontes de luz.

Além disso, os alunos mostram grande dificuldade em transpor um conhecimento aparentemente adquirido num contexto para um outro contexto. Quando indicamos luz a ser emitida pelo Sol e a chegar à Terra quando a Lua está numa posição de eclipse, ou quando realizamos essencialmente o mesmo procedimento com um candeeiro e um obstáculo à frente, não é adquirida a compreensão de que se trata da utilização do mesmo procedimento de resolução de problemas.

Já o esquema holístico da imagem (uma imagem é uma réplica corpórea de um objeto. Pode-se mover, manter-se no mesmo lugar ou rodar) evidencia uma grande degradação dos aspetos que o suportam, mantendo no essencial o aspeto 4.2., “A imagem está sempre presente no espelho, seja ou não observada. (Ainda que não a possas ver, outros podem)” – como aquele aspeto que evita que o esquema tenha um ganho mais significativo. No entanto este aspeto é de facto muito resistente à mudança como mostra a literatura que analisámos. Por sua vez, o esquema sombra como imagem (A sombra é uma espécie de imagem separada do objeto) mantém o seu suporte em poucos aspetos, mas de grande resistência à instrução. Nomeadamente a incapacidade dos alunos identificarem a zona de penumbra – onde mais uma vez identificamos que não há a realização de uma ligação entre as aprendizagens em Astronomia e em Ótica, para além de ser um tópico em que, por exemplo, Al-Kindi ainda representava erradamente e que a literatura refere como particularmente resistente – é fator essencial para a abundância do esquema.

Também a cor, foi um tópico de ensino-aprendizagem onde, apesar de haver uma evolução interessante de aumento de unidades de registo associadas a concepções cientificamente aceites, a persistência ou aumento de outras categorias que identificam concepções alternativas são particularmente significativas. No entanto, devemos salientar que a literatura reporta a cor como das mais difíceis áreas para realizar uma mudança concetual. Doze anos de escolaridade e mais de dezoito anos de relação com cor como substância (lápiz, tintas, etc.) ajudam a solidificar uma posição ontológica muito desfavorável a uma aprendizagem sobre a natureza da cor. E mesmo se os alunos vêm que a cor também existe em corpos quase imateriais (como no “céu”), a epistemologia que têm sobre o que é aprender física e que discutimos atempadamente, leva a uma separação e compartimentalização de experiências.

Pensamos que identificámos, aliás de acordo com o que é reportado na literatura (Elby, 2001; Hammer & Elby, 2002; Kalman, 2009), um significativo obstáculo à mudança concetual: a epistemologia sobre a aprendizagem que os alunos trazem para as aulas de ciências leva a que vejam o currículo como um conjunto de teorias, leis e conceitos que devem ser aprendidos sem conexão, de modo fragmentado e cujo objetivo é (apenas) a resolução de problemas. A visão da ciência como um todo coerente que se insere na atividade cultural das sociedades e que deve estar sujeita à fruição dos seus produtos numa perspetiva crítica e emancipadora por parte dos cidadãos e comunidades, leva a que o conhecimento científico em sala de aula, apenas como caricatura, possa dispensar o desenvolvimento do pensamento crítico, a HFC, ou as questões sócio-científicas.

Ora, cada vez mais frequentemente e em mais países (e.g., Garik & Benétréau-Dupin, 2014) são explicitados objetivos de ensino-aprendizagem que vão além do conteúdo concetual da ciência e que envolvem a própria história da ciência e o que é a ciência (NC). Por outro lado o ensino das ciências situa-se no objetivo mais vasto da construção de uma sociedade com maiores índices de literacia. Por vezes, as próprias necessidades políticas associadas aos *rankings* dos instrumentos como o PISA levam à implementação de alterações que de facto acabam por contrariar o desenvolvimento que o PISA pretende avaliar (veja-se a vaga de introdução de avaliações intermédias, levando ao “estudo para o teste”).

Assim, quando se desenvolve um processo de ensino-aprendizagem onde apenas um nível relativamente baixo de mudança concetual é atingido, significa, segundo cremos, não um fracasso do ensino-aprendizagem, mas que outras aprendizagens – no quadro mais vasto do que significa aprender ciência – podem ter ocorrido e que não são avaliadas, e portanto exibidas nos instrumentos que avaliam o nível de mudança concetual.

Esta última nota leva-nos a olhar a nossa análise às teorias de mudança concetual que adotámos criticamente no nosso trabalho. Se por um lado têm produzido uma vasta literatura que nos diz mais e diz melhor sobre o que os alunos sabem e como os alunos aprendem, por outro lado, deram, inadvertidamente, a ideia que aprender ciência é aprender novos conceitos. Veja-se que passados dez anos da publicação do seu artigo que lançou o modelo padrão da mudança concetual, Kenneth Strike e George Posner (1992) sentiram necessidade de enfatizar que usavam a palavra “conceção” e não “conceito” na questão “Como os alunos fazem a transição de uma conceção C_1 , para uma conceção sucessora C_2 ”, para marcar a “pluralidade e complexidade interna destes objetos de mudança.” Mas se for verdade que as primeiras impressões ficam

marcadas e são mais dificilmente removidas, então as teorias de mudança concetual têm alguma responsabilidade em manter o ensino das ciências como fragmentado e descontextualizado. Este aspeto negativo é, por seu lado, ultrapassado pela atenção que as teorias de mudança concetual que foram além do modelo padrão, dedicam às questões afetivas, epistemológicas e ontológicas no processo de aprendizagem e à complexidade da estrutura “conceito.”

O problema que enunciámos no §1 e ao qual procurámos dar uma resposta na presente investigação, está estruturado em três eixos fundamentais. Recordamos o problema:

Como a introdução da História e Filosofia das Ciências (HFC) nas práticas de ensino na formação inicial em ciência de educadores e professores do 1º e 2º Ciclo do Ensino Básico contribui para um ensino da ciência humanizado?

Um primeiro eixo diz respeito à introdução da HFC no ensino-aprendizagem. Um segundo eixo que estrutura o problema, relaciona-se com o carácter colaborativo do ensino-aprendizagem e de estas práticas não serem práticas abstratas mas as (nossas) práticas concretas de ensino-aprendizagem. Por fim, um terceiro e último eixo entronca com o nosso objetivo de desenvolver um ensino humanizado que foi definido como um ensino onde a História e Filosofia da Ciência (HFC) está presente, centrado no aluno, contextualizado, baseado no *inquiry* e no qual se aprende sobre a natureza da ciência e estão presentes controvérsias sócio-científicas.

Vimos como a introdução da HFC é suscetível de fornecer conteúdos, promover estratégias e dar contexto ao nosso ensino-aprendizagem; vimos como este foi planificado e transformado através do uso instrumental da HFC e como essa planificação e desenvolvimento foi promotora de estratégias de *inquiry*, de discussões sobre a natureza da ciência e, em menor grau, de presença de controvérsias sócio-científicas.

Estes resultados parecem sugerir, no imediato, duas linhas de trabalho. Uma primeira, relacionada com processos de integração da HFC e das controvérsias sócio-científicas num ensino-aprendizagem promotor de aprendizagens sobre a natureza da ciência e de estratégias de *inquiry*. Uma segunda linha de investigação prende-se com o uso explícito e não apenas instrumental da HFC.

Ainda que na presente investigação tenhamos iniciado a nossa intervenção adotando o uso explícito da HFC, rapidamente vi-mos que não estávamos suficientemente preparados, tanto no domínio didático como no domínio teórico, para que o ensino-aprendizagem resultasse positivamente. O facto de um ensino que adote

uma abordagem explícita da HFC ser estranha à epistemologia dos alunos do que é aprender ciências, foi um obstáculo que teremos de ver como ultrapassar. Neste âmbito surgem várias possibilidades: a) uso de museus e centros de ciência para transportar para o ensino formal ambientes de aprendizagem que torne a HFC um conteúdo natural do ensino-aprendizagem, b) levar mais HFC aos museus e centros de ciência, pelo desenvolvimento de objetos, instrumentos e contextos que tornem os museus e centros de ciência historicamente não anacrónicos e relevantes para o ensino, c) promoção de uma vontade da escola e dos professores de incluir a HFC nos *curricula* de formação inicial e contínua de educadores e professores, para o que contribuirá a necessidade de um ensino-aprendizagem que adote a natureza da ciência, mas também a história da ciência, como um objetivo explícito de ensino, d) desenvolvimento de materiais didáticos HFC adaptados ao contexto português e ao nossas necessidades de ensino-aprendizagem.

5.4 Apontamento Final

Esta investigação procurou utilizar a História e Filosofia da Ciência num processo de transformação como professor-investigador. Foi um trabalho que procurou andar nos limites imprecisos que marcam a fronteira entre as necessidades do ensino-aprendizagem e as possibilidades de transformação. Sentimos na nossa visão do mundo uma alteração enorme; como repetidamente dizemos, descobrimos um outro mundo que estava atrás do véu, mas o que aqui apresentamos sentimo-lo como um passo muito delicado na transformação do ensino-aprendizagem que existe atualmente em Portugal no quadro da formação inicial de professores e educadores. Agora acompanhamos inteiramente Michael Matthews na exigência de uma formação de professores que não se afunile nos aspetos táticos mas que se mostre plenamente humana; que procure e exija o desenvolvimento de toda a humanidade em cada cidadão, em cada aluno.

Apêndices

Apêndice A

Instrumentos de recolha de dados

Desenho do guião do Grupo Focal

Dimensão A.: percepção que têm da ciência	
A.1. o que é a ciência para vocês? (explorar: visão naïve/estruturada; NC: método único; tentativa; empírica, <i>theory laden</i> ; socialmente determinada; o que a escola determinou nas concepções da NC; até que ponto identificam a ciência com a ciência escolar)	5
A.2. O ensino nas UC's de ciências do ensino básico e secundário foi para vocês diferente do ensino de outras disciplinas em algum aspeto?// Existe algumas características que para vocês distinga o ensino da ciência de outras disciplinas? (explorar: transmissivo; desconetado; se foi igual, como era o ensino?)	5
A.3 O ensino nas UCs de ciências física e naturais na XXXX é, para vocês, diferente do ensino de outras disciplinas em algum aspeto?// Existe algumas características que para vocês distinga o ensino da ciência de outras disciplinas?	5
Dimensão B.: impacte nos conhecimentos	
B.1. Têm Artes Plásticas, Teatro e Musica. Nestas UCs gostam de fazer coisas novas? (Explorar: porquê; o que têm diferente de UTM que os leve a isso? <u>Se disserem porque o professor pede para explorar</u> , dizer que em XXX o professor também pede. Gostam mais ou menos dessas UCs em comparação com XXX? Se disserem que têm mais aplicabilidade c/ as crianças, perguntar porque pensam isso.)	5
B.2. Até que ponto a história do Teatro, da Arte, da Sociologia ou da Literatura nas UCs respetivas da XXXX é abordada nas aulas? (Explorar: Porque acham que é abordada? isso torna as disciplinas mais interessantes? Porque não é abordada nas aulas de ciência? Motivo; se não, acham que a história devia ser abordada?)	5
B.3. Nas aulas práticas de Ciências físicas e naturais têm em geral uma montagem experimental para explorar. Sentem-se à vontade para manipular essa montagem experimental? (Explorar E em XXX?, exploram as possibilidades das atividades? Fazem pequenas mudanças dos dispositivos experimentais para ver o que acontece? Tentam ir além do que é indicado? <u>Em geral no laboratório vocês não mexem muito nas coisas, nos instrumentos, fazem o que vos indico e ficam-se por aí. Referir:</u> por medo de estragar? Trabalhar para a avaliação? Não gostam? Não se sentem à vontade? //Quando surge um problema esperam que alguém os resolva ou tomam a iniciativa?// E nas outras UCs das ciências físicas e naturais, passa-se o mesmo?)	15
B.4. Podem recordar-me pessoas que ficaram na história pela sua atividade enquanto cientistas, ou que sendo cientistas tenham ficado na história por outros motivos? (Explorar: esta sociedade seria possível sem ciência? Então como perceber isto? Bernardino Machado; Pedro Nunes)	
B.5. Perguntar uma questão do questionário de levantamento de concepções (quando a rapariga fecha os olhos o que acontece à imagem?)	

Entrevista clínica

(guião)

A.

Objetivo: explorar concepções de imagem e formação de imagem por lentes.

Montagem: Vela, lente e tela.

Q1: O que vês na tela?

Q2: Explica porque surge a imagem na tela.

Montagem: Vela, lente tapada por metade e tela.

Q1: [antes de mostrar] O que vai acontecer na tela se eu, com a mesma montagem anterior tapar metade da lente? Explica

[mostrar]

Q1: Modificavas a tua opinião? Explica.

B.

Objetivo: relação entre a forma da sombra e a forma do objeto.

Montagem: Observação de zonas de sombra e forma da sombra em relação ao objeto.

Corpo opaco: placa triangular.

Q1. A forma da sombra de um objeto depende de que fatores?

(atividade)

Q2. Manténs a mesma ideia? [O que te levou a mudar de ideia?]

Questionário Q1

Tenha em atenção as seguintes indicações:

a) Use os esquemas representados, complete-os ou desenhe novos para responder às perguntas sempre que achar necessário.

b) Nas questões de escolha múltipla escolha apenas uma das alternativas apresentada.

- 1) A Carla e o professor estão a discutir a visão.

Professor: Explica como consegues ver o livro.

Carla: Através dos nervos são transmitidos sinais entre os olhos e o cérebro.

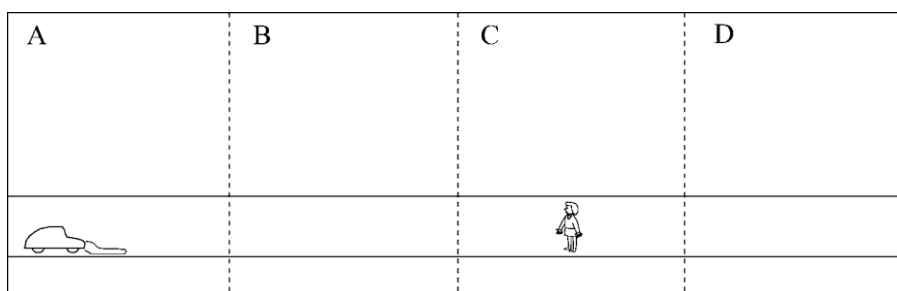
Professor: Sim, isso acontece entre os olhos e o cérebro. Mas entre o livro e os olhos há uma certo espaço, uma certa distância. Acontece alguma coisa aí?

O que responderias tu? Desenha e explica.

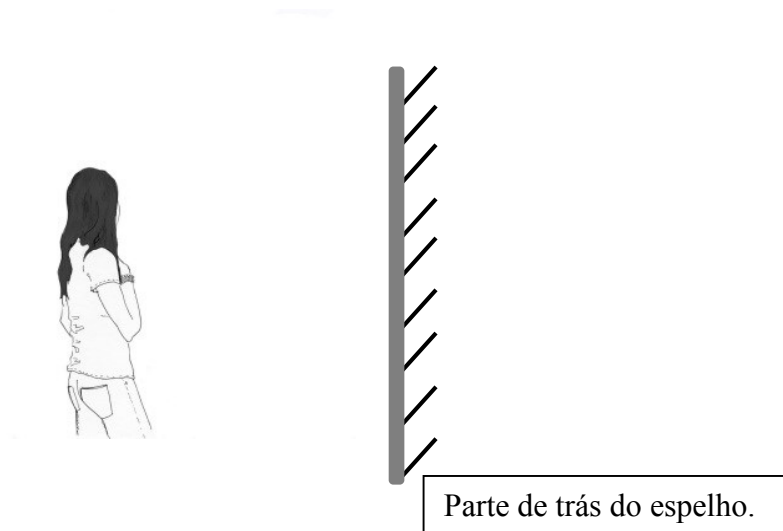


- 2) Numa noite escura e sem nevoeiro um carro está parado numa estrada reta e plana. O carro está com os faróis ligados. Uma pessoa, também parada na estrada, é capaz de ver os faróis. A figura que ilustra esta situação está dividida em quatro secções. Até onde chega a luz dos faróis?

- a) No máximo até à secção A.
 b) No máximo até à secção B.
 c) No máximo até à secção C.
 d) Até à secção D e ainda vai mais além.



- 3) Suponha a mesma situação descrita na questão anterior só que em vez de um carro, tínhamos no seu lugar uma pequena vela acesa. Até onde a luz da vela poderia chegar?
- a) No máximo até à secção A.
 - b) No máximo até à secção B.
 - c) No máximo até à secção C.
 - d) Até à secção D e ainda vai mais além.
- 4) Considere o espelho plano representado em baixo. Os traços representam a parte de trás do espelho. À sua frente está uma aluna a olhar para o espelho, vendo uma imagem sua.
- a) O que acontecerá à imagem se a aluna fechar os seus olhos? Justifique



5) A figura abaixo mostra uma pequena lâmpada colocada em frente a uma caixa que possui uma abertura no seu lado esquerdo. Que região(ões) da parede direita da caixa é(são) iluminada(s) pela lâmpada?

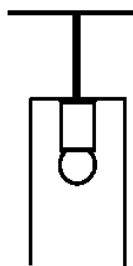
- a) Região A.
- b) Região B.
- c) Regiões A e B.
- d) Regiões A, B e C.
- e) Nenhuma delas.



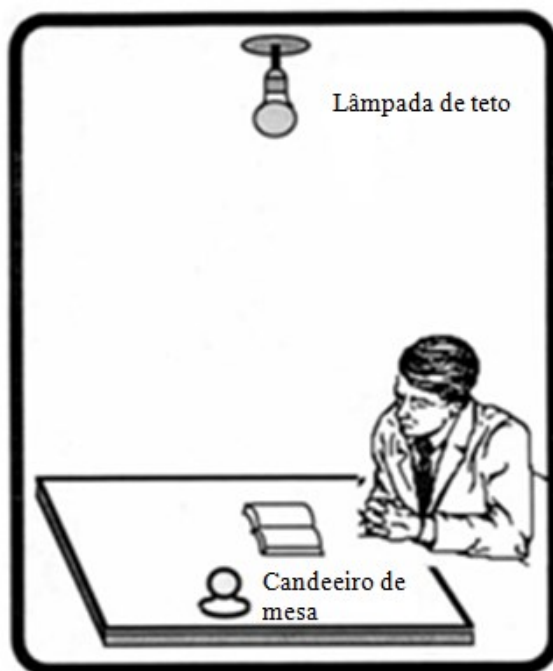
6) Considere que está numa sala escura. Uma pessoa, inesperadamente, acende o interruptor. Entre as afirmações seguintes, selecione a afirmação correta.

- a) Os raios de luz chegam instantaneamente a todos os cantos da sala, iluminando-a.
- b) A luz propaga-se instantaneamente iluminando toda a sala
- c) A luz propaga-se a uma determinada velocidade, iluminando toda a sala.
- d) Os raios de luz propagam-se a uma determinada velocidade iluminando toda a sala.

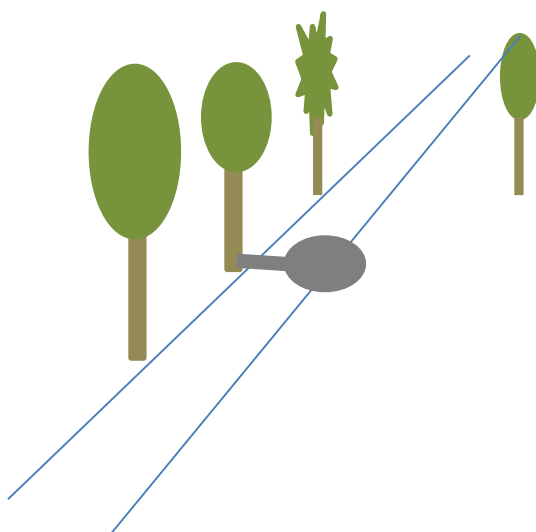
7) Considere a figura abaixo, que representa um candeeiro constituído por uma lâmpada num suporte com uma parte cilíndrica com um determinado comprimento. No chão represente a zona iluminada.



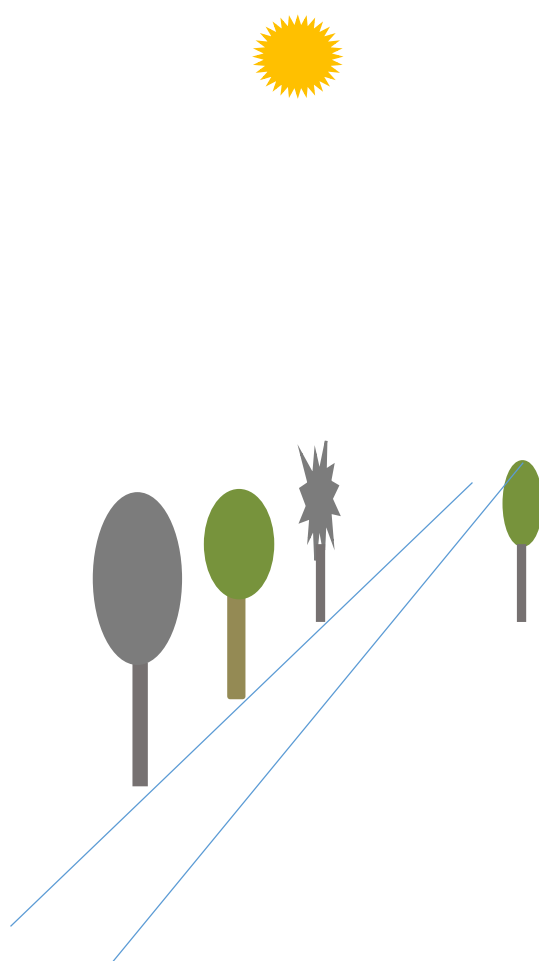
- 8) Explique porque existem estações do ano. (Faça esquemas/desenhos para ilustrar a sua resposta.)
- 9) Veja a figura abaixo. Supomos que as duas lâmpadas têm a mesma potência diferindo apenas do local em que estão. Qual das lâmpadas - a lâmpada na mesa ou a lâmpada no teto - ilumina mais o livro, facilitando a leitura? Justifica.



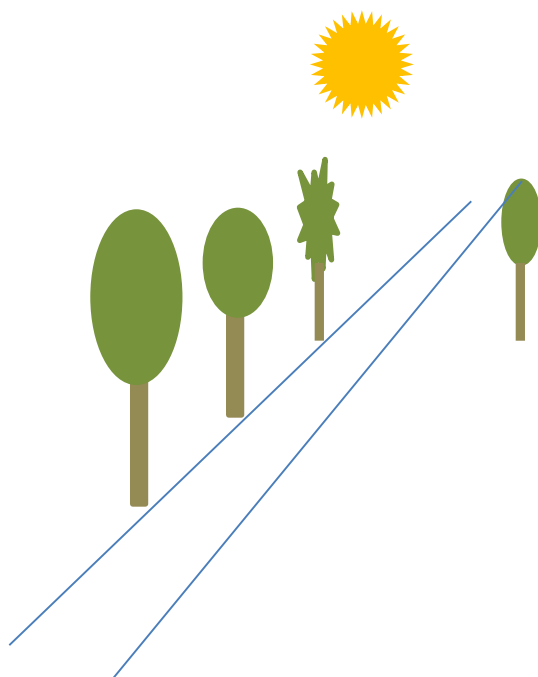
- 10) Considere a figura abaixo, representando árvores na beira de uma estrada num dia com Sol. Está igualmente representada a sombra de uma das árvores. Represente a sombra das outras árvores.



- 11) Considere a figura abaixo, representando árvores na beira de uma estrada num dia com Sol. Está igualmente representada a posição relativa do Sol relativamente às árvores. Represente a sombra das árvores.



12) Considere a figura abaixo, representando árvores na beira de uma estrada num dia com Sol. Represente a sombra das árvores. (Tenha em consideração que a posição relativa do Sol é diferente do esquema anterior.)



- 13) A Marta comprou as quatro caixas que estão representadas na imagem.
- a) Diga porque percebemos as caixas com cores diferentes.



- b) As caixas são colocadas numa sala onde não entra luz nem há nenhuma fonte de luz. Se a Marta conseguisse ver as caixas, vê-las-ia de que cor? Explica o teu raciocínio.

Número de aluno:

Reservado

Apêndice B

Planificações

Tabela 1

Planificação das aulas de ótica no primeiro Ciclo de IA, ano letivo de 2012-2013. Entre parênteses curvo e após cada objetivo de aprendizagem está a classificação desse objetivo segundo a Taxonomia de Bloom modificada. (Krathwohl, 2002)

Aula	Conteúdos programáticos	Objetivos de aprendizagem	Atividades /estratégia	Recursos
TP 1 1h45	- Sistema da visão - Imagem e objeto - Meio ótico - Corpos opacos, transparentes e translúcidos - Refração -Anatomia do olho humano -Formação de Imagem na retina. - Representação da luz na ótica geométrica.	- Interpretar corretamente um esquema do olho humano; (Bc; 2.1) - Explicar a formação da imagem na retina. (Cb; 2.7) - Classificar os corpos em opacos, transparentes e translúcidos. (Aa; 2.3) - Explicar qualitativamente a Lei da Refração (Bc; 2.7) - Reconhecer a representação da luz na ótica geométrica. (Bc, 1.1) - Verificar a importância da integração de diferentes áreas do conhecimento para o estudo de fenómenos como a visão. (Db; 5.1)	- Apresentação dos conteúdos programáticos: <u>exposição</u>; (10 min) - Necessidade de especialização disciplinar e interdisciplinaridade em ciência. O caso da visão: <u>Discussão</u> (10 min) - Representações esquemáticas: <u>Análise e discussão</u> (20 min) - A Lei da Refração (salientar distinção entre relação qualitativa e quantitativa) (30 min) <u>Exposição</u>; <u>visionamento de filme no wiki</u>. (Em casa) - Trabalhar a lei da Refração utilizando diversos meios e esquemas <u>exposição</u> com diversidade de representações - Qual a importância de conhecer a refração para perceber a visão? <u>Trabalho autónomo</u>.	- Imagem do cone visual de Kepler - Esquema da estrutura do olho - Esquema da refração; -copo de água com lápis -vídeo 1 no wiki - Texto sobre Disciplinas e interdisciplinaridade
P 1 1h30	-Propagação retilínea da luz - Lentes -Câmara obscura	- Distinguir evidências da propagação retilínea da luz (Cb; 4.1) - Interpretar o funcionamento de uma camera obscura (Ca; 3.1) - Ilustrar um esquema do olho (Ca; 3.2) - Diferenciar graficamente lentes biconcavas e biconvexas (Cb; 4.1) - Atribuir à córnea e cristalino a forma e função de uma lente biconvexa (Ba; 4.3)	- Preenchimento do consentimento informado; - Pedir para responder ao questionário NOS. (10 min) - Resposta ao questionário Q1 (45 min) - Formação de grupos e informação sobre o wiki e outros recursos -Distribuir uma câmara obscura + 2 velas/grupo. Pedir se conseguem obter evidências de como se propaga a luz - Distribuir uma placa opaca e um candeeiro/grupo: Voltar a pedir evidências da propagação retilínea da luz	-Consentimento informado - Questionário 5 Cameras obscuras 10 Velas 5 Candeeiros 5 Placas opacas Nota: Esta aula foi antes da TP1.
TP 2 1h45	- Comportamento da luz em lentes - Aproximação das lentes finas - Imagens - Imagens reais - Imagens virtuais	- Reconhecer o uso de aproximações e modelos em ciência (Cc; 1.1) - Verificar a utilização de modelos e aproximações na ótica geométrica: representação da luz e lentes finas (Bc; 5.1) - Explicar a lei da Reflexão (Bc; 2.7)	- Uso de modelos em ciência <u>discussão</u> - Lei da reflexão <u>exposição</u> - Será que a luz é refletida de modo semelhante por todos os materiais? Atividade com fonte de luz e espelho e fonte de luz e papel. <u>Demonstração em grande grupo</u>.	- Texto 1; - Laser - Espelho plano - Exemplos de modelos em várias áreas da ciência

	- Lei da Reflexão. - Reflexão regular / superfícies espelhadas e difusa /superfícies rugosas; - Dispersão da Luz - Cor	- Classificar a reflexão em espelhada e difusa (Aa; 2.3) - Examinar as diferenças entre a reflexão espelhada e a difusa (Cb; 5.1) - Explicar o percurso da luz para que possamos ver (Bc; 2.7) - Interpretar o fenómeno de dispersão da luz (Aa; 2.1) - Organizar os fenómenos da refração e da dispersão da luz. (Bb; 4.2) - Explicar a cor em função da dispersão da luz (Bc; 2.7)	- Refração e dispersão da luz: explicar o observado na aula prática. <u>Discussão em grande grupo</u> Introduzir a cor na discussão. - Ler e discutir o texto de Newton (Texto 1) no wiki (retomar na TP 3)	
P 2 1h30	- Refração da luz - Dispersão da luz - Lentes - Comportamento da luz em lentes - uso da lupa - Formar uma imagem de um objeto num ecrã	- Verificar a dispersão da luz (Bb, Cb; 5.1) - Classificar lentes (Ba; 2.3) - Diferenciar lentes bicôncavas e biconvexas (Cb; 4.1) - Classificar o tipo de lente de uma lupa (Ba, Ca; 2.3) - Comparar o comportamento da luz em lentes biconvexas e bicôncavas (Ab, Cb; 2.6) - Recordar o uso correto da lupa (Ca; 1.2) - Verificar qual a lente a usar para formar uma imagem num ecrã (Ba; 5.1) - Gerar imagens numa tela utilizando uma lente biconvexa (Cc; 6.1)	- Observação da refração e dispersão usando um gobele grande com água, fonte de luz branca e ecrã <u>inquiry</u> - Identificar que quando há refração há também dispersão <u>inquiry</u>. - Identificar a lente através do manuseamento e verificar com os dedos a diferença de espessura do centro e bordos da lente <u>inquiry</u> - Verificar que a luz se comporta diferentemente ao atravessar lentes biconvexas e bicôncavas: <u>Uso da banca de ótica.</u> - Formar uma imagem usando lente biconvexa <u>inquiry em pequeno grupo</u>	- protocolo 1. - Lentes, placas, velas - Lupas; - Banca de ótica. - Tina de água e fonte de luz branca.
TP 3 1h45	- Reflexão total - Fenómenos óticos atmosféricos: arco-íris e miragens. - Doenças oculares e correção - Natureza da luz. - Grandezas características de uma onda; -Espectro eletromagnético	- Explicar o fenómeno da Reflexão Total (Aa, Bb, Ca; 2.7) - Gerar uma explicação para o arco-íris primário (Bc, Cb; 6.1) - Gerar uma explicação para as miragens (Cb; 6.1) - Explicar o que é uma dioptria. (Aa; 2.7) - Interpretar a miopia e a hipermetropia como resultado de processos físicos (Aa, Bc; 2.1) - Conferir as lentes que corrigem a miopia e a hipermetropia. (Cb; 5.1)	- Reflexão total: uso do 'tanque ótico' <u>demonstração grande grupo</u> - Arco-íris e miragens: <u>exposição</u>. - Doenças oculares e dioptrias: <u>exposição e discussão</u> Ver outras doenças oculares: voltar à anatomia do olho. - Descrever evidências do comportamento ondulatório da luz - Tipos de ondas: <u>exposição</u> - Grandezas características de uma onda: <u>exposição</u> - Relação qualitativa e quantitativa entre o c.d.o, frequência e energia <u>exposição</u>:	- Tanque ótico - Colocar no wiki evidências do comportamento ondulatório da luz

		- Recordar a existência de ondas transversais (ondas na água, luz) e longitudinais (som). (Aa, Ba; 1.2) - Interpretar evidências de que a luz é uma onda (Aa, Ba; 2.1) - Explicar a relação entre c.d.o. e frequência (Aa, Bc; 2.7) - Verificar a relação entre frequência e energia de uma onda (Bc; 5.1) - Diferenciar as principais zonas do espectro eletromagnético, sua posição relativa e utilidade (Bc; 4.1)		
P 3 1h30	- Formação de imagem com espelhos. - Dispersão da luz branca - Cor (síntese aditiva) - Observação de interferência da luz	- Classificar os espelhos em côncavos, convexos e planos (Aa; 2.3) - Gerar imagens utilizando espelhos côncavos (Cc; 6.1) - Produzir a separação da luz branca com um prisma (Cb, Da; 6.3) - Produzir cores pela adição de luz (síntese aditiva) (Aa, Da; 6.3) - Avaliar evidências sobre a natureza da luz: interferências (Bc, Cb; 5.1)	- Formar imagem de uma vela em uma tela utilizando um espelho (<u>inquiry em pequeno grupo</u>); - Utilizar a banca de ótica para obter o 'espectro oblongo'; conferir a sua forma com a descrita por Newton <u>inquiry em pequeno grupo</u> - Síntese aditiva (candeeiros etc.) <u>inquiry em pequeno grupo</u> - Utilizar o interferômetro e observar luz de diversas fontes	- Texto 1 - Espelhos côncavos - vela - tela - Banca de ótica - Prismas - Luz com diferentes cores - Interferômetro
Aula de astronomia				
P 4 1h30	- Cor (síntese subtrativa) - Obtenção de cor usando pigmentos	- Produzir cores pela subtração de luz (síntese subtrativa) (Aa, Da; 6.3) - Interpretar o surgimento das sombras coloridas. (Aa, Cb; 2.1)	- Síntese subtrativa. (caixa com líquido azulado, caixa com líquido vermelho: verificar que os dois, separados são transparentes. Colocar um líquido colorido vermelho dentro do outro vaso com líquido azul e explicar o que se vê (Hooke; N 9 3084) <u>inquiry em pequeno grupo</u>. - Mistura de pigmentos diversos - Subtração de luz usando filtros	- Protocolo - Pigmentos - Banca de ótica

Tabela 2

Planificação das aulas de ótica no segundo Ciclo de IA, ano letivo de 2013-2014. Entre parênteses curvo e após cada objetivo de aprendizagem está a classificação desse objetivo segundo a Taxonomia de Bloom modificada. (Krathwohl, 2002)

Aula	Conteúdos programáticos	Objetivos de aprendizagem	Atividades /estratégia	Recursos
TP 1 1h45	- Visão - Anatomia do olho humano - Meio ótico - Corpos transparentes e opacos - Propagação retilínea da luz	- Interpretar corretamente um esquema do olho humano (Bc; 2.1) - Explicar porque a pessoa não pode ser separada do estudo dos fenómenos óticos. (Bc, Da; 2.7) - Diferenciar meios transparentes de opacos (Aa; 4.1) - Reconhecer meios óticos como transparentes à luz (Aa, Ba; 1.1) - Exemplificar meios óticos (Córnea, Ar, água, vidro) (Ab, Ba; 2.2) - Reconhecer a propagação retilínea da luz num mesmo meio ótico. (Bc; 1.1) - Verificar a importância da integração de diferentes áreas do conhecimento para o	- Apresentação dos conteúdos programáticos e avaliação: <u>exposição</u>; (10 min) – Remeter para leitura na plataforma. - Formação de grupos para as práticas. (5 min) - Preenchimento do consentimento informado; - Q1 (45 min) //60min ----- - Necessidade de especialização disciplinar e interdisciplinaridade em ciência. O caso da visão e luz: <u>Discussão</u> (10 min) //70 - <u>Discutir</u> o papel do observador na ótica. Ao contrário de outras áreas da ciência, não há visão sem o observador; este faz parte do processo (1). - Realizar e discutir representações esquemáticas do olho: Distribuir pelos alunos a imagem presente em Descartes c/ texto (1) - Identificar no esquema a propagação retilínea da luz e o desvio da luz quando atravessa a córnea e o cristalino. - Meio ótico como meio transparente à luz. Exemplos. (Córnea, Ar, água, vidro). Meios opacos. <u>Análise e discussão</u>. (20 min) //90	- Consentimento informado; - Questionário. - Esquema da estrutura do olho. -vídeo 1 no wiki. Disciplinas e interdisciplinaridade https://sites.google.com/site/cantinhodouniverso2014/ (1) Fazer pequeno texto

		estudo da luz e da visão (Db; 5.1)		
P 1 1h30	- Propagação retilínea da luz - Imagem e objeto (1ª abordagem) - Lentes - Câmara obscura - Objetos opacos, transparentes e translúcidos - Sombra como ausência de luz. - Fluxo luminoso e intensidade luminosa.	- Distinguir evidências da propagação retilínea da luz (Cb; 4.1) - Explicar as diferenças entre fluxo luminoso e intensidade luminosa (Aa, Ba, Ca; 2.7) - Organizar corpos opacos, transparentes e translúcidos (Aa, Ca; 4.2) - Reconhecer que as imagens podem ser direitas ou invertidas (Ab; 1.1) - Verificar que a imagem obtida por uma câmara obscura é invertida (Cb; 5.1) - Interpretar o funcionamento de uma camara obscura (Ca; 3.1) - Diferenciar lentes bicôncavas e biconvexas (Ba, Cb, Cc; 4.1)	- Marcação de Teste. (10 min) 21 de Abril - Evidências de propagação da luz em linha reta num mesmo meio <u>inquiry</u> - Identificar materiais opacos, transparentes e translúcida <u>classificação</u> - Obtenção de uma imagem com a câmara obscura <u>discussão</u> - Identificar e explorar lentes bicôncavas e biconvexa <u>discussão</u> - Imagem de um objeto visto através de um recipiente com água. (O que acontece à luz quando passa pela água?) <u>discussão</u> - Fluxo e intensidade luminosa <u>inquiry</u> Fontes de luz de duas fontes com fluxos luminosos diferentes (1:2). À mesma distância variar o ângulo e avaliar qualitativamente a intensidade luminosa numa determinada área predefinida [pode-se mesmo delimitar a área]. Fazer o mesmo mas a distâncias diferentes.	Fazer protocolo. 5 Cameras obscura 10 Velas 5 Candeeiros 5 Placas opacas 1 Tanque com água

		- Atribuir à córnea e cristalino a forma e função de uma lente biconvexa (Ba; 4.3)		
TP 2 1h45	- Velocidade de propagação da luz - Objetos luminosos e iluminados - Imagem e objeto (2º abordagem) - Comportamento da luz em lentes - Aproximação das lentes finas - Representação da luz na ótica geométrica. - Formação da imagem na retina. (2ª abordagem) - Lei da Refração	- Representar lentes de modo esquemático (Ba; 3.1) - Diferenciar qualitativamente fluxo luminoso e intensidade luminosa (Aa, Ba; 4.1) - Deduzir a existência de energia luminosa a que os nossos olhos não são sensíveis. (Bc, Da; 2.4) - Reconhecer que a luz se propaga com velocidade enorme mas finita (Aa; 1.1) - Implementar a construção esquemática da imagem de um objeto na retina (Bc, Da; 3.2) - Reconhecer o uso de aproximações e modelos em ciência (Cc; 1.1) - Verificar a utilização de modelos e aproximações na ótica geométrica:	- Representação esquemática de lentes. - Objetos luminosos ou iluminados: apenas vemos objetos luminosos ou iluminados; Todos os objetos luminosos produzem energia (luminosa) <u>discussão</u> - O olho humano apenas é sensível a uma pequena parte da energia produzida por uma fonte de luz. Em geral há energia que é libertada em quantidades significativas e que nós sentimos como calor (energia térmica) <u>exposição</u> //30 min - Se vemos a imagem de um objeto implica que luz proveniente desse objeto entra nos olhos. Uma lâmpada tem um fluxo luminoso (independente de nós) mas uma intensidade luminosa que depende do observador. - Fluxo luminoso [lumens]: medida da quantidade total de luz emitida por uma fonte de luz. Intensidade luminosa (candela) medida do brilho do fluxo de luz <u>exposição</u> e <u>discussão</u>. - A luz não se propaga instantaneamente mas tem velocidade finita. Dar valores Lua Terra, Sol Terra <u>exposição</u> - Esquema de formação da imagem na retina. A formação de imagem ponto a ponto: Ponto objeto/ ponto imagem, utilizando o cone visual de Kepler <u>exposição</u> - Identificar que no conjunto córnea mais lente biológica a luz sofre um desvio. A que se deve o desvio da luz na córnea e cristalino? - Lei da Refração <u>Exposição, construção de esquemas, discussão</u>. - Introdução da representação da luz na ótica geométrica. - Introduzir a aproximação das lentes finas. (<u>exposição</u>) - Discussão das possibilidades e limitações do modelo. Necessidade de simplificar o objeto de estudo e captar o essencial para o estudo (15 min). (45 min)	- Imagem do cone visual de Kepler; - Texto 1; - Laser - Espelho plano - Exemplos de modelos em várias áreas da ciência - Imagens de refração e dispersão de luz. (De Newton)

		representação da luz e lentes finas (Bc; 5.1) - Explicar o processo de formação da imagem na retina (Cb, Da; 2.7) - Explicar qualitativamente a Lei da Refração (Bc; 2.7)		
P 2 1H30	- Refração da luz - Dispersão da luz. - Lentes - Comportamento da luz em lentes - uso da lupa - Imagens reais e virtuais.	- Explicar zonas de sombra e de penumbra (Aa, Cb; 2.7) - Interpretar o fenómeno de dispersão da luz (Aa; 2.1) - Classificar lentes (Ba; 2.3) - Diferenciar lentes biconcavas e biconvexas (Cb; 4.1) - Classificar o tipo de lente de uma lupa (Ba, Ca; 2.3) - Verificar qual a lente a usar para formar uma imagem num ecrã (Ba; 5.1) - Gerar imagens numa tela utilizando uma lente biconvexa (Cc; 6.1)	- Observação do fenómeno da refração num copo com água e lápis. <u>Inquiry</u> - Identificar que quando há refração há também dispersão <u>inquiry</u>. - Verificar que a luz se comporta diferentemente ao atravessar lentes biconvexas e biconcavas: <u>Uso da banca de ótica</u>. - Formar uma imagem usando lente biconvexa (placa, lente, vela,) <u>inquiry em pequeno grupo</u> - Espalhamento da luz na atmosfera (modelar) - Explicar o que é a hipermetropia e miopia. Pedir para que digam e expliquem as lentes que usariam.	- protocolo 1. Telas/Fontes de luz Lentes de vários tipos; escolhem a biconvexa. - Texto 1 (para dispersão / diferente refrangibilidade)

		- Comparar o comportamento da luz em lentes biconvexas e bicôncavas (Ab, Cb; 2.6) - Interpretar a miopia e a hipermetropia como resultado de processos físicos (Aa, Bc; 2.1) - Conferir as lentes que corrigem a miopia e a hipermetropia. (Cb; 5.1)		
TP 3 1h45	- Imagem de corpos não luminosos - Refração da luz - Dispersão da luz - Lei da Reflexão. - Reflexão regular / superfícies espelhadas e difusa / superfícies rugosas; - Reflexão total e sua importância. - Arco-íris	- Explicar a lei da Reflexão (Bc; 2.7) - Classificar a reflexão em espelhada e difusa (Aa; 2.3) - Examinar as diferenças entre a reflexão espelhada e a difusa (Cb; 5.1) - Gerar o percurso da luz num prisma triangular (Ca; 6.1) - Explicar o fenômeno da Reflexão Total (Aa, Bb, Ca; 2.7) - Gerar uma explicação para o arco-íris primário (Bc, Cb; 6.1) - Explicar a relação entre cor da luz e refrangência (Ba; 2.7)	- Introduzir a relação entre refração e dispersão da luz <u>discussão</u> - Utilização da lei da Refração para explicar o percurso da luz num prisma triangular. (45 min) -- Lei da reflexão <u>exposição</u> - Será que a luz é refletida de modo semelhante por todos os materiais? Atividade com fonte de luz e espelho e fonte de luz e papel. <u>Demonstração em grande grupo.</u> - Reflexão total: uso do 'tanque ótico' <u>demonstração grande grupo</u> - Arco-íris: <u>exposição.</u>	- Tanque ótico - prismas

P 3 1h30	- Formação de imagem com espelhos - Dispersão da luz branca - Cor (síntese aditiva)	-- Classificar os espelhos em côncavos, convexos e planos (Aa; 2.3) - Gerar imagens utilizando espelhos côncavos (Cc; 6.1) - Produzir a separação da luz branca com um prisma (Cb, Da; 6.3) - Produzir cores pela adição de luz (síntese aditiva) (Aa, Da; 6.3)	- Formar imagem de uma vela em uma tela <u>inquiry em pequeno grupo</u> - Utilizar a banca de ótica para obter o 'espectro oblongo' - Conferir a sua forma com a descrita por Newton <u>inquiry em pequeno grupo</u> - Síntese aditiva (candeeiros etc.) <u>inquiry em pequeno grupo</u>	- Texto 1 - Espelhos côncavos e convexos -vela -tela Banca de ótica - Luz com diferentes cores.
Aula de astronomia				
P 4 1h30	- Síntese subtrativa - Pigmentos - Sombras coloridas	- Produzir cores pela subtração de luz (síntese subtrativa) (Aa, Da; 6.3) - Interpretar o surgimento das sombras coloridas. (Aa, Cb; 2.1)	- Síntese subtrativa. (caixa com líquido azulado, caixa com líquido vermelho: verificar que os dois, separados são transparentes. Colocar um líquido colorido vermelho dentro do outro vaso com líquido azul e explicar o que se vê (Hooke; N 9 3084) <u>inquiry em pequeno grupo</u> . - Uso de filtros da banca de ótica <u>inquiry em pequeno grupo</u> - Sombras coloridas: realização <u>inquiry em pequeno grupo</u> (discussão na aula e no wiki) - Subtração de luz usando filtros	- Protocolo - Placas -lápis - Fontes de luz de diversas cores.

Apêndice C

Apontamentos de História da ótica e da cor

A. Incursão pela História da Ótica

As contribuições dos Antigos e o trabalho dos sábios árabes

O estudo intenso dos fenómenos óticos teve as suas raízes na Antiguidade Grega com a elaboração de teorias concorrentes sobre o processo de visão (Lindberg, 1976; Ronchi, 1970, 1991). Lindberg (1976) localiza na Grécia Antiga a origem de três abordagens à ótica que persistiram no tempo e que frequentemente se sobrepuseram. As abordagens anatómicas e fisiológicas que acabaram por dar origem à oftalmologia; a filosófica, onde questões de natureza ontológica, epistemológica e psicológicas encontraram as suas primeiras respostas, e, finalmente, a abordagem matemática (geométrica), orientada para a perceção espacial.

É no cruzamento destas tradições que assenta o trabalho de Johannes Kepler (1571 – 1630) (Darrigol, 2012; Lindberg, 1976). De facto, encontramos em Grant (2003) uma clara exposição dos processos de transmissão, circulação e apropriação do conhecimento dos Antigos, tanto pelos sábios árabes como pelos escolásticos medievais. Este processo, por sua vez reforça a interpretação historiográfica que enfatiza a continuidade sobre a rutura.

Além do mais, observações astronómicas e problemas relativos aos instrumentos de observação deram uma nova dinâmica aos estudos óticos. Se a câmara *pinhole*, amplamente usada em astronomia já desafiava o conhecimento ótico de Kepler (Darrigol, 2012; Hon & Zik, 2009), o surgimento da luneta trouxe a necessidade de novas perspetivas de trabalho. (Notemos que a utilidade do conhecimento ótico para a astronomia parece adicionar mais continuidade ao processo de construção do conhecimento ótico.)

O conceito de raio de visão foi introduzido nos estádios iniciais do desenvolvimento das teorias óticas por Euclides (fl. 300 a.C.) (Lindberg, 1976, pp. 11–15). Euclides desenvolveu uma descrição puramente geométrica da visão que forneceu as ferramentas concetuais sobre as quais os trabalhos posteriores se desenvolveram: A geometria não deixou mais os estudos óticos.

Para Euclides, o estatuto ontológico dos raios de visão não eram um conceito puramente matemático mas antes “agentes físicos da visão” (Lindberg, *ibid.*). Ptolemeu (c. 90 – 168) tornou-se, com a sua *Ótica*, o autor mais influente nos estudos óticos posteriores. O “maior ótico da antiguidade”, como Lindberg (*ibid.*) se refere a ele,

postulou a equivalência dos raios de luz e dos raios de visão, mas atribuiu um estatuto ontológico diferente aos raios de visão (ou de luz): Eram uma entidade matemática¹.

Os estudiosos árabes tiveram um papel decisivo tanto na preservação do conhecimento dos Antigos, como no seu desenvolvimento, transformando esse conhecimento com contribuições inovadoras. De facto, os escolásticos medievais dos séculos XII e XIII trabalharam sobre as suas contribuições. Isto constitui-se como uma bela rede de leituras, comentários e traduções que permitiram a preservação e continuação do conhecimento ótico. Dois sábios árabes merecem uma atenção particular. Al-Kindi (c. 800 – 870) desenvolveu importantes contribuições na Metafísica, Psicologia e no que hoje denominamos ciências físicas e da natureza. No domínio da ótica, de acordo com Adamson (2011), al-Kindi:

Seguiu uma tradição inaugurada por Euclides e prosseguida por Ptolemeu e outros, na qual construções geométricas eram usadas para explicar fenómenos tais como a perspetiva visual, sombras, refração, reflexão e espelhos ardentes. Este procedimento implica que luz e visão podem ser formalizadas como linhas geométricas, uma implicação que al-Kindi adotou afirmando que a visão ocorre quando “raios” emitidos dos olhos ao longo de linhas retas atinge um objeto.

Alhazen (965 – c. 1040) adotou e melhorou o trabalho de al-Kindi, e a ambos é atribuído o princípio segundo o qual luz que emana de cada ponto de um objeto luminoso ou iluminado propaga-se em todas as direções (Igal Galili, 2010; Langermann, 2007).

A síntese de Kepler

A síntese realizada por Kepler do conhecimento ótico anterior com abordagens entretanto realizadas pelos perspetivistas e anatomistas, a par com os problemas prementes colocadas pela imagem formada numa câmara *pinhole* e obtidas pelos telescópios deu origem à moderna explicação do processo de visão². Esta realização

¹ Como em outros campos do conhecimento os gregos antigos criaram elaboradas explicações para o processo de visão. O debate se existia um fluxo emanando dos olhos, como defendiam os Pitagóricos, ou um fluxo de natureza diversa, vindo dos objetos para os olhos, como defendiam os atomistas, ou ainda alguma outra combinação, como defendiam Platão, Empédocles e outros, foi apenas resolvido no século XI pelo árabe Ibn al-Haytham, conhecido na cristandade por Alhazen (Lindberg, 1976).

² Ver e.g. (Darrigol, 2012; Lindberg, 1976; Straker, 1981; Westfall, 2003). Um debate historiográfico sobre o trabalho de Kepler como culminando a tradição perspetivista e.g. (Lindberg, 1976), ou como uma rutura com a contribuição dos estudos anteriores e.g. (Chen-Morris, 2001; Straker, 1981) encontra-se frequentemente nas narrativas históricas do trabalho de Kepler. Este tipo de debate pode iluminar alguns problemas epistemológicos relevantes sobre os

foi acompanhada por uma mudança no estatuto ontológico do raio de luz que se tornou em um modelo para a propagação da luz³. Salientamos assim o estatuto ontológico precário do raio de luz nos anos seguintes: Newton, por exemplo viria a defini-lo como a mais pequena parte da luz que mantinha as propriedades desta (I. Newton, 1704).

Descartes nos seus *La Dioptrique* e *Les Météores* publicados em 1637⁴ (Descartes, 1965) elabora sobre o trabalho de Kepler em ótica, nomeadamente em torno da sua teoria de formação de imagem na retina e da explicação do arco-íris⁵ abrindo o caminho para o trabalho de Newton trinta anos mais tarde (Shapiro, 1984a; Westfall, 1980, p. 161). Newton, ainda que conhecedor da teoria da visão de Kepler, não leu os seus trabalhos, tendo no entanto, “adquirido um consistente domínio da ótica contemporânea através dos estudos dos trabalhos de Boyle, Descartes e Hooke” (Shapiro, 1984a, p. 9).

A “Nova teoria da luz e das cores”, seguindo os costumes da época, foi apresentada à *Royal Society* na forma de uma carta ao seu Secretário, Henry Oldenburg. Surgiu nos *Proceedings* como um texto com menos de treze páginas e apenas um esquema de uma montagem experimental. Vários autores (e.g. Darrigol, 2012; Shapiro, 1996) apontam a brevidade com que Newton apresenta a sua teoria com a consequente falta de instruções específicas em alguns domínios para a concretização das atividades experimentais, como causa para os mal-entendidos que se seguiram à sua publicação. Não obstante não devemos esquecer o facto de a “Nova Teoria” ambicionar substituir a venerável teoria peripatética segundo a qual a luz solar é a mais simples e homogénea das luzes e as cores surgirem por misturas em graus diversos de branco e negro, por uma outra na qual a luz do Sol é composta de raios diferentemente

acontecimentos conhecidos como Revolução Científica do século XVII, mas saem do âmbito deste trabalho.

³ Cf. Chen-Morris (2013); Darrigol (2012); Gal e Chen-Morris (2010a). Ainda que Ptolemeu já tivesse visto o raio de luz como um instrumento geométrico, as crenças ontológicas variaram muito ao longo dos séculos posteriores (Dupré, 2012). Além do mais os cânones de racionalidade alteraram-se: É problemático falar sobre ciência e raciocínio científico usando as mesmas palavras e mantendo o seu significado para trabalhar as ideias dos Antigos, dos escolásticos medievais, ou dos perspetivistas renascentistas. Com a Revolução Científica as coisas tornaram-se mais confusas, indistintas, com fronteiras mais permeáveis (Chen-Morris, 2001, p. 456,462). Também Dupré (2002) enfatiza a apropriação em lugar da transmissão entre a antiguidade e a Idade Média e o século XVI, pois os autores deste último período “ainda liam a ótica da antiguidade e Idade Média, mas liam os mesmos textos óticos diferentemente e colocavam-nos ao serviço de objetivos cognitivos diferentes.” (p. 18) [ênfase nossa]

⁴ O Discurso sobre o método é publicado em 1637 como prefácio a três trabalhos: *A Dióptrica*, *Os Meteoros* e *A Geometria*.

⁵ Carl Boyer (1950) discute as contribuições de Kepler e Thomas Harriot (1560 – 1621) para a explicação do arco-íris como resultante de refrações e reflexões numa gota de água, bem como trabalhos de Maurolico (1494 – 1575) e Marco Antonio de Dominis (1566 – 1624) no mesmo sentido. Descartes tem certamente conhecimento de pelo menos alguns destes trabalhos, mas realiza uma contribuição que não é apenas de transmissão de conhecimento anterior.

refrangíveis derivando as cores desta refrangibilidade. Ainda que a apresentação descuidada tenha contribuído para algum atraso na aceitação da “Nova Teoria”, a discussão científica que se seguiu, com a inúmeras e por vezes acesa troca de correspondência, levou Newton a refinar a sua proposta teórica, desenvolvendo as suas ideias e fortalecendo os seus argumentos.

O início dos trabalhos óticos de Newton estão também ligados aos seus deveres académicos em Cambridge. Nos anos de 1667 e 1668, Newton assistiu às lições de Isaac Barrow (1630 – 1677) sobre ótica e em 1669 foi encarregue por este de rever as suas *Lições de Ótica*, o que evidencia de algum modo a confiança depositada nos conhecimentos óticos do jovem Newton por Isaac Barrow. Dessa revisão surgiu o desenvolvimento do trabalho que levou às *Lições de Ótica* de Newton. Estes trabalhos iniciais foram depois desenvolvidos e reunidos na década de 1790 no que veio a constituir parte significativa da *Ótica* de Newton (Shapiro, 1984b).

Quando a *Ótica* foi publicada em 1704, a nova teoria da luz e das cores de Newton já era ensinada em várias universidades da Escócia e Inglaterra (Shapiro, 1996). Ainda que a teoria tenha sido sujeita a uma apropriação e reinterpretação associando-a com um modelo corpuscular para a luz, a teoria tal como exposta na *Ótica* é independente de qualquer modelo para a luz (Cantor, 1983; Darrigol, 2012; Raftopoulos, Kalyfommatou, & Constantinou, 2005). Na décima terceira questão da primeira edição da *Ótica* Newton indicia a sua abertura a considerar a luz como uma onda:

[Não é verdade] que vários tipos de raios causam vibrações de várias grandezas [*bignesses*], as quais, de acordo com as suas grandezas provocam sensações de diversas Cores, muito à semelhança das vibrações do Ar, [que] de acordo com as suas diversas grandezas provocam sensações de vários sons? E em particular [não é verdade] que os raios mais refrangíveis causam as vibrações mais pequenas provocando então a sensação de um forte violeta, o menos refrangível as maiores [vibrações] provocando a sensação de um forte vermelho (...) (p. 136)⁶

Em edições posteriores, nomeadamente na edição em latim de 1706 que serviu como edição de referência para a esmagadora maioria dos filósofos naturais do continente europeu não familiarizados com a língua inglesa, Newton adicionou *questões* que explicitavam a sua preferência pela luz como sendo constituída por corpúsculos (Cantor, 1983). No entanto todas as partes relacionadas com a natureza da luz

⁶ Sabra (1963) esclareceu o significado do uso do termo *bigness* [grandeza] por Newton como significando comprimento de onda e não amplitude da onda como foi interpretado por Duhem e outros.

permaneceram sob a forma de *questões*, i.e., problemas em aberto e a necessitarem de exploração posterior. Como afirma Darrigol (2012, p. 109), “muitos autores adotaram o conceito de luz como um fluxo de corpúsculos emitidos por uma fonte tornando assim a *questão* newtoniana em certeza.”

A rápida apropriação das principais ideias de Newton esteve associado com o crescente uso das demonstrações experimentais em física, uma prática filosófica que se disseminava por toda a Europa nos inícios do século XVIII (Shapiro, 1996). De facto, uma heurística positiva sobre como manipular prismas de forma a obter ‘bons’ resultados (i.e. os que estão de acordo com as proposições newtonianas) bem como um conjunto de montagens experimentais para demonstrar por experiências as proposições, abriu caminho ao desenvolvimento de um ensino no quadro do já forte movimento da filosofia experimental.

Acresce o aspeto de a *Ótica* estar escrita numa forma muito adequada a uma exposição dos seus conteúdos: oito definições e igual número de axiomas, seguidos pelas proposições da teoria no primeiro Livro – acelerou o processo de apropriação. Entretanto Newton publicou o seu *Principia* em 1687 e em 1703 tornou-se Presidente da *Royal Society*. Por tudo isto, a *Ótica* de 1704 estava destinada a espalhar por toda a Europa culta a “Nova Teoria.”

Hooke foi o *referee* (para usar um termo anacrónico) da carta de Newton de 1671/2 que continha a primeira exposição da sua “Nova Teoria da Luz e das Cores”, mas viu-a como apresentando uma hipótese entre outras, e em particular, a sua própria (Shapiro, 1996). Nesse mesmo ano de 1672 Robert Hooke apresentou uma comunicação à *Royal Society* estabelecendo os campos de controvérsia e debate que iria tomar forma nos anos subsequentes: Sobre a aceitação da relação entre desigual refrangibilidade e cores como estabelecido por Newton, por um lado, e sobre a própria natureza da luz, por outro.

Na altura em que Robert Hooke e Christiaan Huygens trabalhavam as suas teorias da luz, a matemática dos fenómenos periódicos ainda não havia sido desenvolvida⁷. Huygens considerava não perturbações periódica mas sim *wavelets*. Este era o grande obstáculo a que a teoria que mais tarde viria a ser desenvolvida e conhecida como a teoria ondulatória da luz, detivesse o mesmo poder persuasivo que

⁷ Huygens desenvolveu uma engenhosa construção geométrica que lhe permitiu explicar o já então conhecido fenómeno da dupla refração da luz no Cristal da Islândia, uma forma transparente de calcite. Esta explicação foi um grande avanço na teoria ótica da altura. Em Dijksterhuis (2012) encontramos uma abordagem a este assunto, bem como do papel desempenhado por Romer no desenvolvimento do interesse de Huygens pela ótica. Também Darrigol (2012, pp. 64–71) apresenta uma abordagem da explicação da dupla refração por Huygens.

a teoria newtoniana. Além do mais, Huygens não forneceu uma teoria das cores no seu *Tratado da Luz* composto antes de 1678 mas publicado apenas em 1690. De facto, ele afirma no seu prefácio que não ataca o fenómeno das cores “o qual até agora ninguém se pode vangloriar de ter êxito” (Huygens, 1912, p. vii), numa clara referência à pretensão de Newton de ter resolvido o assunto.

É de igual modo revelador ver como Huygens em várias passagens no prefácio do *Tratado*, e em contraste com a abordagem tipicamente assertiva de Newton, coloca a descoberto as debilidades da sua teoria. De facto, afirmando que “Irão ser vistas nele [*Tratado*] demonstrações daquele tipo que não produzem tão grande certeza como aquelas da Geometria” (idem, p. vi) tornaria o que se segue mais incerto do que as pretensões afirmadas de Newton. Ou na afirmação de que “Eu espero também que haja alguém que, seguindo estes começos, penetre *muito mais* nesta questão *do que eu fui capaz de fazer*, pois o assunto *deverá estar longe de estar esgotado*.” (sublinhados nossos) (id., p. vii). A metodologia de Huygens para fazer filosofia natural difere substancialmente da newtoniana, pois, conforme afirma, “enquanto os Geómetras provam as suas Proposições através de Princípios fixos e incontestáveis, aqui os Princípios são verificados pelas conclusões retirados deles; a natureza destas coisas não permite que isto seja feito de outro modo” (id., p. vi)

Christiaan Huygens estava muito próximo da filosofia mecanicista de Descartes enquanto Isaac Newton prosseguia as suas investigações em filosofia natural sobre novos fundamentos⁸.

⁸ Vários outros filósofos naturais desenvolveram um papel importante no estabelecimento do conhecimento ótico no século XVII (Darrigol, 2012; Shaffer, 1990; Shapiro, 1989, 1996, 2008).

B. Incursão pela história da cor à luz da filosofia natural

Algumas notas sobre o conceito aristotélico e pseudo-aristotélico de cor

A abordagem ao fenómeno das cores na filosofia natural entre os escolásticos medievais, os renascentistas e a grande maioria dos filósofos naturais da Revolução Científica foi apresentada por Aristóteles (384 – 322 a.C.) no seu *De Sensu* e *Meteorologica*. No entanto, segundo alguns autores (e.g. Katerina Ierodiakonou (2005), a concepção aristotélica da cor foi uma apropriação da tradição que teve origem com Empédocles (c. 490 – c. 430 a.C.). De facto, Ierodiakonou (comunicação pessoal) defende que duas grandes tradições sobre a cor tiveram origem logo no século V a.C. Uma com Demócrito (c.460 – 370 a.C.) e outra com Empédocles. Enquanto em Demócrito a cor existe por convenção, pois apenas existem átomos e vazio, na tradição iniciada por Empédocles a cor e a forma das coisas são as propriedades primeiras. Para Empédocles existiam quatro cores primárias, i.e. branco, preto, vermelho e amarelo, que correspondiam aos quatro elementos primordiais, i.e. fogo, água, terra e ar.

Aristóteles segue a tradição inaugurada por Empédocles e as cores são, então, propriedades das superfícies dos corpos podendo ser geradas através de mistura de diferentes proporções de branco e preto⁹. Além do mais, argumenta que cores mais agradáveis seriam aquelas que resultariam de misturas de proporções inteiras de branco e preto, em acordo com as proporções musicais. Esta ligação entre a geração de cores e proporções matemáticas definidas é também uma apropriação de Empédocles (Ierodiakonou, 2005). Para Aristóteles, as cores dos corpos são uma qualidade das suas superfícies que a luz permite que sejam observadas. Outra abordagem à origem das cores foi desenvolvida para explicar as cores que surgiam no arco-íris e em halos. De acordo com Aristóteles, as cores do arco-íris eram devidas à reflexão da luz branca¹⁰, pois como afirmou (Aristóteles, 2013):

⁹ O branco e preto devem ser entendidos como claridade e escuridão. De noite existiria o preto, quando o Sol começava a nascer a claridade surgia, alguns tons de amarelo e vermelho surgiam no horizonte, as águas do mar tomavam tons diferentes de azul e verde à medida que o Sol caminhava. Aquando do pôr-do-sol, e à medida que a escuridão aumentava de proporção, a mistura com a claridade que se esvanecia gerava novas cores. (Katerina Ierodiakonou, comunicação pessoal, Atenas, julho de 2014)

¹⁰ Luz branca aqui não tem o mesmo significado que para Newton, como é óbvio. Luz branca

A luz branca através de um meio escuro ou sobre uma superfície escura (não faz nenhuma diferença) aparece vermelha. Nós sabemos o quão vermelho é a chama de uma madeira verde: isto é por causa de tanta quantidade de fumo que está misturado com o branco vivo da luz do fogo: assim, também o Sol aparece vermelho através do fumo e do nevoeiro. É por isso que no arco-íris a reflexão da circunferência exterior é vermelha (a reflexão sendo de pequenas partículas de água)

Aristóteles prossegue de seguida com a explicação do surgimento de amarelo e violeta, para o que desenvolve antes o seguinte raciocínio prévio (id.)

Devemos reconhecer, como dissemos e escrevemos: primeiro, que cor branca numa superfície preta ou vista através de um meio negro dá vermelho; segundo, que a vista quando esforçada para uma distância torna-se fraca e menor; terceiro, que o preto é uma espécie de negação da visão: um objeto é preto porque a vista falha; assim à distância tudo parece mais escuro, pois a visão não atinge [tais distâncias].

Após o qual está apto a explicar a origem das diversas cores no arco-íris (id.):

Quando há uma nuvem perto do Sol e olhamos para ela, não parece nada colorida a não ser com branco, mas quando olhamos para a mesma nuvem na água ela mostra uns vestígios da coloração do arco-íris. Claramente, portanto, quando a visão é refletida é enfraquecida e, como isso faz o escuro parecer mais escuro, também faz o branco parecer menos branco, mudando-o e fazendo-o mais próximo do preto. Quando a visão é relativamente forte, a mudança é para o vermelho; o próximo estágio é verde, e um maior grau de enfraquecimento dá violeta. Mais nenhuma mudança é visível, mas três completam a série de cores (como nós encontramos que três fazem em muitas outras coisas.)

Estas duas abordagens às origens das cores, tanto como propriedades sensíveis dos corpos, ou, noutro domínio da realidade, como um resultado da modificação da luz branca, foram ambas trabalhadas e assimiladas na filosofia natural dos escolásticos medievais e dos sábios árabes.

Não obstante, a explicação das cores que aparecem no arco-íris ou nos halos ou em fenómenos similares, não têm o mesmo poder persuasivo que a explicação do surgimento das cores nos corpos opacos. Estas eram caracterizadas como cores reais, e tinham uma explicação direta e simples, enquanto aquelas eram categorizadas como

pode ser, neste caso, sinónimo de luz clara, ou claridade.

cores aparentes e a sua explicação exigia uma argumentação complexa com a reflexão, mistura de luz com preto bem como o enfraquecimento da visão com a distância.

A filosofia natural de Aristóteles, assimilada pela Igreja Católica com o trabalho de Santo Agostinho (354 – 430) e outros permaneceu extremamente influente. Como Schmitt (1973) afirmou

O aristotelismo não acabou com Copérnico, nem mesmo com Galileu e Bacon. De facto floresceu ao longo do século dezasseis como nunca antes, e *estava ainda em plena floração pela maior parte do século dezassete*. Apenas gradualmente foi o escolasticismo fundado em Aristóteles empurrado para fora das universidades. (p. 163)

Esta persistência está certamente relacionada com as profundas transformações que o aristotelismo sofreu, bem como o quanto ele servia as necessidades dos filósofos no enquadramento do seu trabalho e na prossecução de um melhor conhecimento em cada contexto (Grant, 2003; Schmitt, 1973).

Ao longo de toda a Idade Média e Renascimento, as teorias peripatéticas, em todos os campos da filosofia natural sofreram profundas melhorias e alterações. Quanto menos fundada, ou mais instável era a explicação, mais era trabalhada pelos escolásticos. Se a teoria das cores dos corpos opacos não oferecia problemas de maior, (pelo menos não ao nível fenomenológico, pois a situação de certo modo inverteu-se com Newton) o mesmo não acontecia com as cores do arco-íris, ou, mais geralmente, com as cores que surgiam nos meios transparentes. Como Gal e Chen-Morris (2010b) afirmam:

As cores aéreas do arco-íris apresentavam um desafio difícil para as teorias aristotélicas da visão e da luz pois a cor, de acordo com Aristóteles, é uma qualidade dos corpos opacos. O arco-íris então, não podia ser nem uma propriedade do ar transparente nem da luz, que não é um corpo. *Este problema continuou a preocupar óticos e comentadores aristotélicos por toda a Idade Média e Renascença*. [sublinhado nosso] (p. 207)

A cor durante e imediatamente após a Revolução Científica

Como referimos anteriormente, a publicação por Newton em 1704 da sua *Ótica* que culminou um trabalho iniciado cerca de 30 anos antes, acelerou a assimilação da

nova teoria da luz e das cores na Europa continental de tal modo que antes de 1720 era largamente aceite¹¹.

Que a luz branca não era simples e homogênea mas composta e heterogênea e que é nessa heterogeneidade que reside a origem das cores eram duas ideias difíceis e difíceis de aceitar¹². Elas contradiziam dois milénios de filosofia natural e confrontavam trabalhos recentes sobre luz e cores realizados por distintos filósofos naturais, como Descartes, Boyle, Hooke ou Huygens. Imediatamente após a apresentação na *Royal Society* da “Nova Teoria”, Newton recebeu objeções à sua explicação vindas de Hooke, Huygens e Pardies, entre outros. Foi em diálogo, muitas vezes vivo e áspero, com eles, que Newton melhorou tanto o conteúdo como a apresentação da sua teoria.

Antes de nos referirmos a alguns argumentos relevantes contra a teoria newtoniana das cores, devemos expor uma importante contribuição realizada por Descartes, um autor bem conhecido de Isaac Newton.

A filosofia mecanicista de Descartes fornecia um novo quadro conceptual para o estudo dos fenómenos naturais pensando o “espaço como completamente cheio de partículas perfeitamente rígidas de vários tamanhos e formas” (Darrigol, 2012, p. 39) que levou a um processo muito criativo mas pouco profícuo de criação de mecanismos através dos quais os fenómenos naturais seriam explicados. Para Descartes (1965) a luz era “a ação ou movimento de um certo material muito fino cujas partículas devem ser vistas como pequenas bolas” (p. 336). Esta conceção permitiu-lhe imaginar modos muito engenhosos de diferentes movimentos serem transmitidos a essas partículas¹³.

Ainda que esta abordagem ao estudo da filosofia natural proporcionasse o desenvolvimento de alguns programas de investigação (no sentido de Lakatos), tal como os de Pardies, Hooke e Huygens (Darrigol, 2012, pp. 49–77), não pôde no entanto oferecer uma explicação satisfatória para a origem das cores devido à introdução de

¹¹ Ver por exemplo a introdução à tradução do Latim das *Lições de Ótica* Shapiro (1984b, 1996). Ainda que Schaffer (1989) forneça um relato diferente da receção da “Nova Teoria”, tanto ele como Shapiro parecem concordar que a sua teoria era largamente aceite já em 1720. Para a apropriação da teoria newtoniana em Inglaterra ver Cantor (1983); em França e em geral no continente europeu ver Guerlac (1981); nos países baixos ver Dijksterhuis (2008).

¹² A teoria newtoniana da luz era problemática: Existiam sérias dificuldades tanto na formulação teórica assim como na sua apresentação (Shapiro, 1980).

¹³ Ver por exemplo a explicação da origem das cores após a luz ser refratada por um prisma em Descartes (1965, pp. 336–338). Sobre a contribuição da filosofia mecanicista para os estudos óticos ver Westfall (2003)

demasiadas hipóteses *ad hoc*, permitindo, no entanto um primeiro afastamento das qualidades Aristotélicas.

Como um passo no seu raciocínio para explicar as cores do arco-íris, Descartes fez uso de uma montagem nas quais as cores “surgiam da mesma forma” que no arco-íris, referindo-se à montagem que reproduzimos na Figura 1

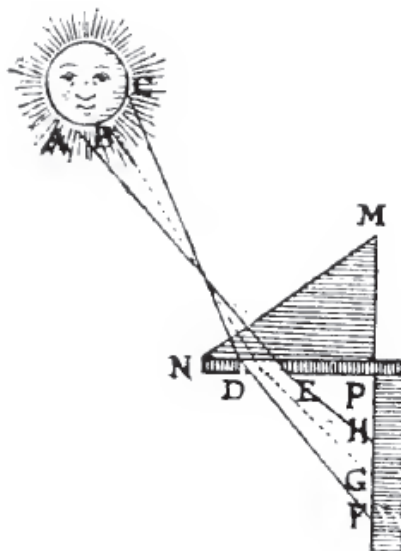


Figura 1. Montagem usada por Descartes que serve de passo no seu argumento para explicar o surgimento das cores do arco-íris na placa PHGP. Prisma triangular MNP assente sobre uma placa com um orifício DE. A luz do Sol é refratada passando por esse orifício. É interessante notar os cânones da época. A mudança deste tipo de representação para uma nova forma de diagramas geométricos é discutido em Chen-Morris (2009) e Baldasso (2006). Fonte: Descartes (1965, p. 330).

Em função desta montagem, Descartes (1965) começou a defender que não necessitávamos mais de inquirir sobre a origem das cores

Disto, parece-me ser bastante óbvio que não devemos procurar qualquer outra coisa nas cores mostradas pelos objetos; pois a experiência diária mostra que luz ou branco, e sombra ou preto, em conjunto com as cores do arco-íris (...), bastam para compor todas as outras. (p. 338)

Além do mais ele “não pode aprovar a distinção feita pelos filósofos quando afirmam que existem cores verdadeiras e outras que são apenas falsas ou aparentes (idem.),

pois se “toda a verdadeira natureza das cores consiste na sua aparência, parece-me ser uma contradição dizer que elas são falsas, e que elas aparentam.” (idem.)

Assim, a distinção entre cores aparentes e reais começa a desaparecer na filosofia natural, abrindo o caminho para a explicação de todas as cores pelos mesmos fenómenos.

Newton (1671, p. 3081) na primeira explanação pública da sua teoria diz que as “Cores não são *Qualidades da Luz* resultantes de Refrações, ou Reflexões de Corpos naturais (como é geralmente aceite), mas *Originais e inatas propriedades*, que em diversos raios [de luz] são diversas.” Aqui vemos como ele se afasta de Descartes – e de toda a tradição peripatética – na rejeição em ligar as cores a qualquer modificação da luz.

Então, após estabelecer uma ligação estrita entre graus de refrangibilidade dos raios de luz, e a sua disposição para exibir alguma cor particular¹⁴, assim como a impossibilidade de transmutação de cores que alguns raios de luz, bem separados de raios contíguos pudessem exibir¹⁵ (i.e. separados de acordo com as indicações de Newton), Newton afirma que há dois tipos de cores: as cores primárias ou originais: vermelho, amarelo, verde, azul, violeta, laranja e índigo¹⁶, e todas as outras cores, as compostas, produzidas por mistura de duas ou mais cores primárias. Além do mais, o branco não pode ser exibido por qualquer dos raios previamente separados, mas apenas por uma mistura de todos os raios das cores primárias “misturados nas devidas proporções” (ibidem, 3083)

Esta última proposição, permitiu um sólido ataque por parte de Huygens. Este afirmou, numa carta logo em 1672, que era possível obter branco apenas pela mistura das cores amarelas e azuis, o que foi muito depois confirmado por Helmholtz em 1852 (Shapiro, 1980). Ainda que Newton tenha respondido a Huygens argumentando sobre a impossibilidade de tal acontecer, após essa carta ele cessou de afirmar a necessidade de luz de todas as cores para produzir branco (ibidem). Além disso, na *Ótica* ele já admitia que apenas duas cores pudesse produzir branco, ainda que não um branco

¹⁴ De acordo com Newton (1671, p. 3081), “Ao mesmo grau de Refrangibilidade corresponde sempre a mesma cor, e à mesma cor corresponde sempre o mesmo grau de Refrangibilidade. Os Raios *menos Refrangíveis* são dispostos a exibirem a cor *Vermelha*, e reciprocamente aqueles Raios que se dispõem a exibir a cor Vermelha, são todos os menos refrangíveis; Assim os Raios *mais refrangíveis* são todos dispostos a exibirem uma intensa *Cor Violeta*, e reciprocamente aqueles que são aptos a exibirem a cor violeta, são todos os mais Refrangíveis. E assim para todas as cores intermédias numa série contínua correspondendo a graus de refrangibilidade intermédios. E esta Analogia entre cores e refrangibilidade é muito precisa e estrita; os Raios ou sempre concordam em ambos ou discordam proporcionalmente de ambos.”

¹⁵ Como diz Alan Shapiro (1980), “para determinar se uma cor é simples ou composta necessitamos apenas de passar os seus raios através de um prisma para ver se são ou não refratados de igual forma.” (p. 222)

¹⁶ Newton estabeleceu sete cores para o espectro alongado. Esta escolha foi determinada pela necessidade de satisfazer proporções musicais. Cf. Newton (1704, p. 154), Gage (2008).

perfeito, pois organizando as cores primárias num círculo Figura 2 colocava a possibilidade de (I. Newton, 1704):

Se apenas duas das Cores primárias que no círculo são opostas uma da outra forem misturadas em proporções iguais, o ponto Z irá cair no cento O, e ainda assim a Cor composta destas duas não será um branco perfeito. (p. 154)

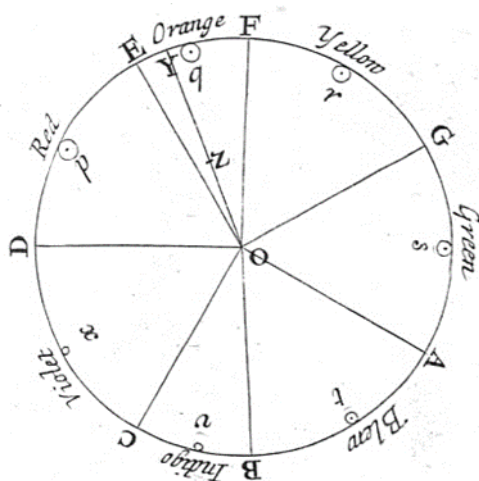


Figura 2. Construção de Newton apresentada na Ótica como um instrumento que permitiria, “Numa mistura de Cores Primárias, dada a Quantidade e Qualidade da cada uma, saber a Cor da Composta.” Fonte: Newton (1704, p. 154)

Mas estariam Huygens e Newton a falar do mesmo conceito quando mencionavam por exemplo, luz verde? De acordo com Shapiro (1980), Newton estava preocupado com a diferença física que resultava da análise realizada pelo prisma, enquanto Huygens e Hooke orientavam os seus argumentos para as identidades sensíveis. *A priori* não existe nenhum processo de distinguir entre uma luz verde composta e uma luz verde simples pois elas imprimem nos sentidos uma mesma impressão. Apenas a prescrição metodológica de Newton para a análise da luz através do prisma e verificar se os raios vão na mesma direção ou seguem em diferentes

direções poderia determinar se Newton e os seus interlocutores falavam do mesmo conceito.

O círculo das cores apresentado na *Ótica* teve um impacto substancial em desenvolvimentos posteriores do estudo das cores tanto na comunidade científica como na artística (Gage, 2008; Shapiro, 1994):

Esta ordenação natural da cor [segue a sequência de cores no espectro da luz branca] foi uma das mais significativas contribuições da sua teoria, especialmente para as artes, e culminou alterações que estavam a ocorrer já há quase três séculos. A divisão musical do espectro por Newton ocupou a imaginação do século XVIII e foi largamente responsável pela crença generalizada de que haveria apenas sete cores espectrais. (Shapiro, 1994, p. 619)

Além do mais, e por mais estranho que nos possa agora parecer, até 1852 pensava-se que misturar pigmentos e misturar luzes coloridas resultava nas mesmas cores. Quando Helmholtz misturou luzes coloridas numa situação experimental cuidadosamente controlada e com instrumentos e vidros não disponíveis no século dezassete, obteve branco, o que foi um resultado inesperado. Robert Boyle, conhecido pela sua cuidada atenção às condições experimentais, misturou amarelo e azul usando tanto pigmentos como luz em situações diferentes, mas relatou na sua obra de 1664, *Experiencias e Considerações Relativas à Cor* [*Experiments and Considerations Touching Colours*] que o resultado era, em todas as situações, verde.

Robert Hooke e Isaac Newton entre muitos outros pensavam do mesmo modo, ainda que ambos tivesse realizado experiências com cores e com pigmentos. Que existiam dois processos muito diferentes de mistura, tanto no domínio teórico como nas montagens experimentais com resultados muito diferentes, agora conhecidos como síntese aditiva e síntese subtrativa, data das experiências de Helmholtz.

O elemento subjetivo na percepção da cor

No século XVIII a apropriação das teorias newtonianas dominou o trabalho científico, e a sua teoria da luz e das cores com a primeira edição da *Ótica* em 1704 e a sua tradução em Latim dois anos depois teve um papel fundamental nessa influência. Ainda que a teoria de Newton seja independente da natureza da luz (Raftopoulos et al., 2005), a sua apropriação foi realizada num quadro concetual corpuscular. De facto, ainda que muito pudesse ser explicado sem recorrer a modelos para a luz, a abordagem fenomenológica tinha limites claros que já eram evidenciados na *Ótica*. Como exemplo,

Newton tratou o fenômeno da cor tanto nos corpos transparentes coloridos como nos corpos opacos. A sua explicação sobre as cores dos de filmes finos foi realizada com um talento experimental excecional e uma grande inventividade teórica; a sua teoria de “disposições de fácil reflexão ou transmissão”. (Darrigol, 2012, pp. 98–99), mostra tanto a criatividade de Newton como os limites de uma abordagem modelo-independente para a luz.

Em 1801, Thomas Young (1773 – 1829) em 1801 teve um papel importante no desenvolvimento de uma teoria ondulatória da luz¹⁷. Aqui interessa-nos o seu desenvolvimento da teoria tricromática de percepção das cores¹⁸ que significa a limitação do número de cores primárias a três: vermelho, amarelo e azul. Com este número limitado de cores primárias, ele foi capaz de conjecturar uma hipótese em que a retina conteria um número limitado de pontos sensíveis. Posteriormente desenvolvida por Helmholtz em 1850, forma hoje a base do que é conhecido como a resposta fisiológica da retina à luz. (Notamos aqui um retorno à abordagem integrada dos fenômenos óticos que permitiu a síntese de Kepler.)

Em 1790, Goethe (1749 – 1832), o grande poeta alemão viu uma parede branca através de um prisma e a parede branca “surgiu tão branca como sempre” (Duck, 1988, p. 512). Mais, “apenas quando alguma coisa preta estava presente se manifestava uma cor mais ou menos distinta” (idem, ibidem). Nas suas investigações seguintes, Goethe preferiu uma explicação para o fenômeno das cores que era, na sua essência, Aristotélica.

Ainda que a abordagem de Goethe ao fenômeno das cores fosse, na altura, descartado pela comunidade científica, ele continuou os seus trabalhos fora do quadro teórico dominante da ótica e ciência da cor (Sepper, 1988, 2002). Na sua *Teoria das Cores (Zur Farbenlehre)* publicado em 1810 e traduzido em Inglês trinta anos depois, Goethe desenvolveu uma abordagem fenomenológica à cor que encontrou nos inícios dos anos XX um renovado suporte. Além do mais, a sua abordagem à cor foi influente entre outras comunidades epistémicas, como a dos artistas, colocando ênfase na

¹⁷ Cf. Darrigol (2012, pp. 179–180). Aí, o autor descreve os dispositivos retóricos empregues por Thomas Young que permitiu uma apropriação mais rápida da teoria ondulatória num meio newtoniano onde dominava a concepção corpuscular. Ver também Young (1802).

¹⁸ O princípio da interferência de Young foi desenvolvido enquanto trabalhava uma explicação para as cores de filmes finos, um assunto também trabalhado pelo próprio Newton e com importância para o desenvolvimento da ótica no século XVIII. No entanto não trataremos desse assunto aqui.

necessidade de considerar a resposta do observador aos fenómenos. Como afirmou Duck (1988):

Ainda que possa ser assumido de modo razoável que o *tom observado* de uma fonte de luz colorida é independente do nível de luminância, este não é necessariamente o caso. Se, por exemplo, um filamento incandescente é observado através de um vidro vermelho escuro de uma lâmpada infravermelha, *aparece como sendo* mais amarelo do que a vizinhança imediata, enquanto a mistura espectral é a mesma ao longo de toda a imagem. (Sublinhado nosso) (p. 518)

Além do mais, “em geral, amarelos e azuis tendem a predominar sobre vermelhos e amarelos a altas intensidades e *vice-versa* a baixas intensidades.” (ibid.).

Aristóteles e o Aristotelismo, ao atribuir cores aos corpos, continuando a tradição de Empédocles, iniciou um quadro concetual de dois milénios onde a filosofia natural discutiu as cores. A filosofia mecanicista que irrompeu no século XVII com Descartes forneceu uma nova abordagem ao trabalho em filosofia natural ao exigir a formulação de hipóteses sobre como a matéria, uma entidade que permeava tudo, se comportava de modo a exibir os fenómenos observados. Até aos meados do século dezassete, a luz do Sol era tida como homogénea, simples, pura luz branca e a luz colorida alguma modificação dessa luz. Newton realizou uma rotura com esta conceção e introduziu a luz colorida como a mais simples, pura e não composta. A comunidade científica escrutinou e trabalhou no quadro newtoniano durante pelo menos cinquenta anos – de 1671/72 até 1720 – até à sua generalizada apropriação.

Mas Newton realizou alguns compromissos terminológicos com a nova comunidade dos artistas surgida no Renascimento e a Revolução Científica: As suas cores primárias eram as cores primárias dos artistas durante grande parte do século dezoito. Além disso, diferentes comunidades epistémicas enquadraram o estudo das cores no século dezanove.

De facto, enquanto muitos artistas mantinham uma posição antagónica à abordagem de Newton da cor, e trabalharam para estabelecer um programa de investigação em torno da perceção da cor e seus atributos (cores quentes e frias, cores contrastantes, etc.) para o qual Goethe, em alguns aspetos abriu caminho, os físicos do século dezanove desenvolveram o estudo da luz e das cores no novo quadro concetual

da teoria ondulatória através da quantificação das suas propriedades, enquanto a influente indústria das tintas enquadrou a maioria dos trabalhos dos químicos sobre cor.

Apêndice D

**Tradução comentada da Nova Teoria da Luz e
das Cores**

Introdução¹⁹

A comunicação de Isaac Newton, seguindo o hábito da altura, foi apresentada à *Royal Society* sob a forma de carta ao seu secretário, Henry Oldenburg e publicada nas *Philosophical Transactions* a 19 de fevereiro de 1671/2²⁰.

A presente tradução foi realizada a partir do original publicado nas *Philosophical Transactions* cotejada com uma tradução para português do Brasil de Silva e Martins (1996) e com uma tradução francesa de Claude Guthmann (2010). Seguiu as indicações historiográficas de Shapiro (1984), nomeadamente quanto à utilização de letras maiúsculas, itálico e outras. Indicamos entre parenteses retos o início da página na publicação original. Nas medições apresentadas utilizamos parenteses curvos para apresentar o valor em unidades do Sistema Internacional.

De modo a propiciar um uso didático desenvolveremos os aspetos mais convenientes. De seguida, na própria tradução, inserimos notas de rodapé nas quais discutimos outros aspetos mais pontuais.

O prisma

Logo ao início da comunicação, após descrever sumariamente a obtenção de um prisma triangular de vidro e a sua colocação num quarto escurecido junto a um orifício realizado para deixar entrar uma “quantidade conveniente” de luz (Figura 3), Newton refere que ao ver, de modo mais cuidado, as cores produzidas na parede, ficou “surpreendido por vê-las com uma forma *oblonga*, a qual, de acordo com as leis da refração”, esperava que “devesse ser *circular*.”

A lei da refração a que Newton se refere é a conhecida lei de Snell-Descartes ou lei dos senos. Apresentada por Descartes em 1637²¹, mede quanto a luz é desviada

¹⁹ Roberto Martins e Cibelle Silva (2001; 2003) trabalharam tanto em inglês como em português aspetos que nós também abordamos. Aliás a tradução e publicação da *Nova Teoria* em português do Brasil é da sua autoria. A adicionar aos argumentos que adiantámos para realizar a nossa própria tradução, os nossos comentários, tendo pontos convergentes acabam por diferir em aspetos que consideramos relevantes.

²⁰ A Inglaterra usou o calendário juliano até 1752. Como [parte da Europa](#) (nomeadamente a França e a Prússia), já o havia abandonado quase dois séculos antes em favor do calendário gregoriano, era hábito escrever as datas até 25 de março com dois números, o primeiro referente ao calendário juliano e o segundo ao calendário gregoriano.

²¹ Para uma discussão da descoberta da lei dos senos e consequências da sua aparente violação nos trabalhos de Newton e Huygens ver Dijksterhuis (2004). O persa Ibn-Sahl no século X, o

quando muda de meio ótico.

No entanto, para que a forma circular fosse a esperada, era necessário que o prisma fosse colocado na posição do desvio mínimo, ou seja, que a luz incidente e a luz refratada formassem um ângulo igual com as faces do prisma ou, o que é igual, que a luz ao atravessar o prisma o fizesse paralelamente à sua base. Assim a colocação do prisma na posição de desvio mínimo é condição necessária para a apresentação da teoria.

De facto Newton menciona, quando procede aos cálculos na página 3077 que o seu dispositivo experimental pressupõe que “as Refrações em ambos os lados do Prisma, ou seja, dos Raios Incidentes e Emergentes eram tão próximos quanto eu pudesse fazê-los iguais...”, ou seja, a colocação do prisma na posição de desvio mínimo. Esta frase está no entanto no meio dos cálculos e passou despercebida.

Oldenburg recebe logo a 9 de Abril desse ano uma carta do padre jesuíta francês Ignace Gaston Pardies (1636 – 1673), em que a objeção ao texto de Newton se baseia em não ter percebido que a apresentação da *Nova Teoria* se baseava no pressuposto de que o prisma era colocado na posição de mínimo desvio.

A questão da forma oblonga do espectro é essencial em todo o argumento de Newton: “Comparando o comprimento deste *Espetro* [*Spectrum*] colorido com a sua largura, encontrei-o cinco vezes maior; uma desproporção tão acentuada que me levou a uma curiosidade acima da normal para examinar de onde poderia advir.” E a construção da *Nova Teoria* faz-se pela narração do percurso histórico (reconstruído) com a sucessiva colocação, ponderação e eliminação de explicações para o fenómeno que desaguam na sua experiência crucial.

O prisma desempenha então, na construção de Newton, um papel fundamental.

A Metodologia em ciência

inglês Thomas Harriot em 1601 e o Holandês Willebrord Snell por volta de 1620 antecederam Descartes na sua descoberta. No entanto a publicação em 1637 do *Discourse de la Methode* deu origem a uma referência que perdurou para os filósofos naturais que lhe sucederam.

A utilização de um prisma de vidro como instrumento com o qual os fenómenos são obtidos e é desenvolvida e realizada a exposição da sua teoria implica que este

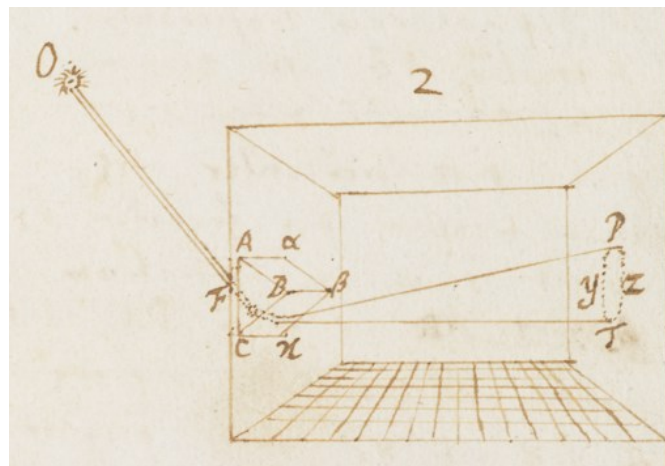


Figura 3. Obtenção do espectro PYTZ fazendo passar luz do Sol O por um orifício circular F e refratando-a com o prisma $A\alpha B\beta C\kappa$. Este esquema surge como a figura 2 nas *Lições de Ótica*. (Fonte: [Cambridge University Press](#))

fosse à data um instrumento conhecido, utilizado e discutido, logo legitimado, entre os filósofos naturais.

Simon Schaffer (1989) argumenta que o prisma não era um instrumento familiar ao filósofo natural da altura, pelo menos não no sentido em que o eram lentes e espelhos. Estes, após a publicação em 1610 do *Sidereus Nuncius* (Mensageiro das Estrelas) por Galileu, conheceram um estudo intensivo e melhorias na sua produção que estava relacionado com o interesse no desenho de telescópios e microscópios. Foram abundantes durante o século dezassete as disputas em torno dos limites e possibilidades de produção de melhores instrumentos através da melhoria do trabalho com o vidro. O programa (falhado) de Descartes de mecanização do polimento de lentes hiperbólicas – que integrava a ideia de eliminação do erro humano associado ao trabalho manual (Gauvin, 2006, p. 202) - que Descartes havia encontrado como sendo aquelas que eliminavam a aberração esférica, foi acompanhado, por uma crescente capacidade dos vidreiros e artesãos em produzir melhores lentes (Gauvin, 2006; Schaffer, 1989). No entanto, como nota Dijksterhuis (2004), em meados do século XVII

A qualidade dos telescópios, ainda que tenha avançado consideravelmente, estava longe de ser perfeita. A arte de fazer lentes havia progredido muitíssimo, permitindo que fossem construídos telescópios com mais do que duas lentes desafiando a inventividade dos fabricantes (...). Ainda assim, as lentes eram esféricas (quando muito) e logo as imagens telescópicas sofriam de obstáculos intrínsecos que pediam soluções inteligentes (p. 56)

Assim, as lentes eram instrumentos sobre os quais os filósofos naturais discutiam amplamente.

Esta situação não acontecia com o prisma. Ainda que Descartes, Boyle e Hooke, entre vários outros, tenham usado prismas nas suas investigações, este era ainda usado parcimoniosamente e apenas para funções de ilustração ou geração de cores. De facto, conforme sustenta Shapiro (1996, p. 70) os contemporâneos de Newton não eram totalmente ignorantes relativamente ao seu uso. Isto não permite no entanto colocar o prisma com o mesmo estatuto epistemológico das lentes: Os instrumentos da filosofia natural (da ciência) são-no na medida em que são produzidos, usados, discutidos e comercializados.

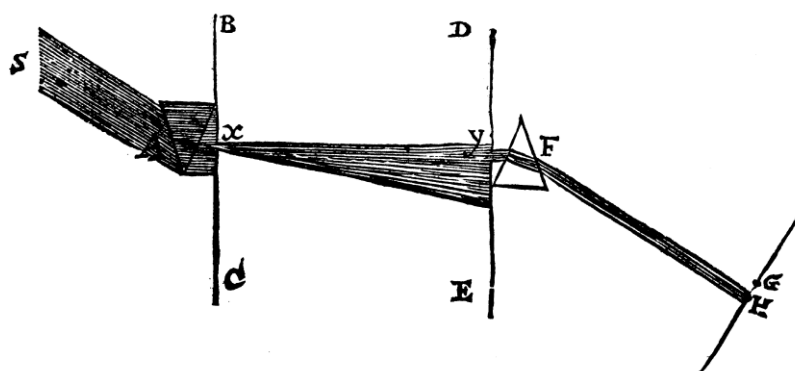


Figura 4. Esquema da experiência crucial que Newton descreve mas não representa na sua comunicação de 1671/2. Esta representação surge numa das correspondências com o padre jesuíta francês Ignace Gaston Pardies, procurando esclarecer as objeções que este havia levantado. A experiência crucial apenas pretende mostrar a diferente refrangibilidade dos raios de luz. Fonte: Newton (1672)

Utilizar o prisma para produzir as cores era prática corrente, mas não para produzir o fenómeno das cores que Newton usa na construção da *Nova Teoria*. O processo metodológico newtoniano de separação do *facto real* do *fenómeno*, no qual este passa a ser um conjunto selecionado e idealizado de experiências e adquire o mesmo estatuto lógico que as leis, enquanto o *facto real* permanece contingente a cada experiência, implica o uso do prisma de um modo absolutamente novo, ou com uma função absolutamente nova (Feyerabend, 1981). Passa de objeto de ilustração a instrumento criador de fenómeno (no sentido newtoniano), logo portador de conhecimento (Baird, 2004). As poucas especificações que Newton deu em 1671/2 sobre o prisma que utilizou à entrada da luz solar: vértice de $63^{\circ}12''$ e um índice de

refração de 1,55 bem como a ausência de qualquer menção técnica sobre o segundo prisma utilizado no *experimentum crucis* (Figura 4), que descreve de forma breve e sem ilustração, levou a um rico debate sobre a *Nova Teoria* e a utilização do prisma nos anos que se seguiram: No que se refere ao prisma, a discussão sobre a eliminação de defeitos (bolhas de ar, espessura irregular, veios etc.), o debate em torno do vidro a usar para a sua construção e as posições adequadas à realização com sucesso (segundo o critério newtoniano) das experiências tornou definitivamente o prisma como um instrumento da filosofia natural.

Para além do uso de um instrumento conhecido mas pouco usado, Newton, como referimos, condensa no fenómeno as inúmeras experiências realizadas, contrariando o trabalho metodológico que Robert Boyle (1627 – 1691) vinha desenvolvendo. A repetição de experiências, a sua realização perante uma comunidade e a aceitação pública das experiências realizadas seriam o fundamento do conhecimento. A experiência crucial não existe em Boyle. O trabalho de Shapin e Shaffer (1984) revela de modo simultaneamente interessante e belo este processo de legitimação da experiência (do conhecimento experimental) por Boyle. Por seu lado, Christiaan Huygens (1629 – 1695), começa por afirmar no seu *Tratado sobre a Luz* (Huygens, 1912) publicado em 1690 que as demonstrações nele contidas

São demonstrações de uma espécie que não produzem tão grandes certezas como aquelas da Geometria, e que diferem em muito destas, uma vez que enquanto os Geómetras, provam as suas Proposições através de princípios fixos e incontestáveis, *aqui os Princípios são verificados pelas conclusões que se podem retirar deles*; a natureza destas coisas [da ótica] não permitem que seja feito de outro modo. Desta maneira é *sempre possível chegar a um grau de probabilidade que muitas das vezes é pouco menos que prova completa*. A saber, quando coisas que foram demonstradas pelos Princípios assumidos correspondem perfeitamente aos fenómenos que a experiência trouxe sobre observação; *especialmente quando existem um grande número deles* [de fenómenos] [ênfase nossa] (p. vi)

Vemos aqui uma abordagem metodológica não apenas diferente mas divergente da de Newton. Este, deriva dos fenómenos consequências necessárias e certas; Huygens, adota a “inferência para a melhor explicação” como metodologia (Thagard, 1978)²².

Assim, a história da ciência parece evidenciar que no mesmo período foram

²² O nome de hipotético-dedutivo é muitas vezes referido como nomeando a metodologia utilizada por Huygens (Shapiro, 1989).

desenvolvidas várias abordagens metodológicas para fundar o conhecimento em filosofia natural. Feyerabend (1981, 1993, pp. 153 - 158), analisando em particular o trabalho de Newton afirma mesmo que este conhecimento foi fundado contra a metodologia por ele mesmo prescrita e, mais, que esta violação das próprias regras é condição necessária ao aumento do conhecimento. De facto Newton parece seguir este padrão. Por um lado estabelece regras rígidas para obter o conhecimento certo, por outro, sempre que julga necessário para desenvolver os seus argumentos, rompe com essas mesmas regras.

Este rompimento com as regras, ao contrário de romper o “compromisso com o racionalismo em ciência” (e.g. Matthews, 1994, pp. 93–95) permite encontrar a racionalidade da ciência, não no domínio estrito do trabalho de um cientista, mas de uma comunidade que partilha um programa de investigação no sentido de Lakatos (1970a). Este procedimento, por outro lado permite a introdução no desenvolvimento da ciência de uma dimensão não analítica nem empírica, e que Holton (1973) denominou de *thematica*, profundamente enraizada na cultura de cada época e nas crenças mais fundas de cada indivíduo.

Tradução Comentada

Uma carta do Sr. Isaac Newton, professor de matemática na Universidade de Cambridge, contendo a sua Nova Teoria sobre Luz e Cores, enviada pelo autor para o editor de Cambridge a 6 de Fevereiro de 1671/72, de modo a ser comunicada à Royal Society.

SENHOR,

Para cumprir uma promessa anterior, devo sem mais cerimónias informá-lo que no início do Ano de 1666²³ (altura em que me dediquei a polir vidros Óticos de outras formas que não as *Esféricas*), obtive um Prisma Triangular de vidro, para com ele tentar o celebrado *Fenómeno das* [p. 3076] *Cores*²⁴. Para esse fim, tendo escurecido meu quarto e feito um pequeno orifício em minha janela de modo a deixar entrar uma quantidade conveniente de luz do Sol, coloquei o Prisma na sua entrada para que ela pudesse ser assim refratada para a parede oposta. Foi no início um divertimento muito agradável ver as vívidas e intensas cores assim produzidas. Mas após um tempo a considerá-las mais seriamente fiquei surpreendido por vê-las com uma forma *oblonga*, a qual, de acordo com as recebidas leis da Refração, eu esperava que devesse ser *circular*.²⁵

Elas terminavam nos lados em linhas retas, mas nas extremidades, o enfraquecimento da luz era tão gradual que era difícil determinar exatamente qual a forma que tomava, no entanto pareciam *semicirculares*²⁶.

Comparando o comprimento deste *Espetro* [*Spectrum*] colorido com a sua largura, encontrei-o cinco vezes maior; uma desproporção tão acentuada que me levou a uma curiosidade acima da normal para examinar de onde poderia advir. Pensei que dificilmente a *Espessura* variável do vidro, ou a terminação com sombra ou escuridão,

²³ O início do ano de 1666 indicado no texto, coloca diversos problemas, e.g., a obtenção do prisma, o facto do Sol não se elevar muito no horizonte conforme era necessário para a realização as experiências relatadas e a própria localização de Newton. (Westfall, 1980, pp. 156–171)

²⁴ Robert Boyle, por exemplo, publicou o seu *Experiments and Considerations Touching Colours* em 1664, Descartes havia publicado *Les Météors, como parte do seu Discourse de le Méthode* em 1637. Ambos os livros são atentamente estudados por Newton no final do seu curso em Cambridge. O “celebrado fenómeno das cores”, ou seja, a passagem de luz por um prisma e a projeção de luzes coloridas do outro lado é amplamente conhecido.

²⁵ A lei da refração, lei dos senos ou lei de Snell-Descartes, foi publicado por este último em 1637.

²⁶ Aparentemente esta forma é uma inferência que tem por base a suposições de regularidade e simplicidade. De facto, na altura, não era possível supor que a luz solar era mais intensa na zona do amarelo que é assim a mais espessa do espetro, sendo a hipótese de linhas retas uma idealização de Newton (Lohne, 1968).

poderiam ter qualquer influência na luz para produzir tal efeito. Ainda assim pensei não ser fora de propósito examinar primeiro essas circunstâncias, e assim experimentei o que aconteceria transmitindo luz através de partes de vidro de diferente espessura, ou através de orifícios na janela de diversas grandezas, ou colocando o prisma de tal modo que a luz pudesse passar através dele e fosse refratada, antes de ser limitada pelo orifício. Mas não encontrei que alguma dessas circunstâncias fosse plausível. O aspeto das cores era em todos esses casos a mesma.

Então suspeitei se através de alguma *irregularidade* do vidro ou outra anomalia contingente essas cores pudessem assim ser dilatadas. E para testar isso tomei outro Prisma idêntico ao primeiro e coloquei-o de tal modo que a luz, passando através de ambos, seja refratada de modos contrários e assim, pelo último [prisma], retornar à direção da qual o primeiro a desviou. Pois deste modo pensei que os efeitos *regulares* do primeiro prisma, seriam anulados pelo segundo prisma, mas os efeitos *irregulares* aumentados pela multiplicidade de refrações. O resultado foi que a luz que era difundida pelo primeiro Prisma de forma *oblonga*, era pelo segundo reduzido a uma forma *arredondada* com tanta regularidade como quando não passava através deles. Assim, fosse qual fosse a causa daquele comprimento, não era uma irregularidade contingente.

[p.3077] Então procedi de modo a examinar mais criticamente o que poderia ser afetado pela diferença de incidência de Raios vindos de diferentes partes do Sol, para o que medi as diferentes linhas e ângulos pertencentes à Imagem. A sua distância do orifício ou Prisma era de 22 pés (6,7 m); seu comprimento máximo de 13 1/4 polegadas (33,6 cm); sua largura 2 5/8 polegadas (6,66 cm); o diâmetro do orifício era de 1/4 de polegada (6,35 mm); o ângulo que os Raios que se dirigiam para o meio da imagem, formavam com as linhas que teriam percorrido se não tivesse havido refração era de 44° 56'. E o ângulo vertical do prisma 63 deg. 12'. Também as Refrações em ambos os lados do Prisma, ou seja, dos Raios Incidentes e Emergentes eram tão próximos quanto eu pudesse fazê-los iguais e, conseqüentemente cerca de 54° 4'²⁷. E os Raios incidiam perpendicularmente sobre a parede. Agora, subtraindo o diâmetro do orifício do comprimento e largura da Imagem, restam 13 Polegadas (33 cm) de comprimento e 2 3/8 (6 cm) de largura, correspondentes àqueles raios que passaram através do centro do orifício e, por conseguinte, o ângulo do orifício correspondente àquela largura era de

²⁷ Newton diz aqui que está a colocar o prisma na posição de desvio mínimo. Além disso deverá ter calculado os ângulos da luz incidente e emergente de acordo com princípios básicos da ótica geométrica que nos diz que $\delta + A = i + r$ onde δ é o desvio sofrido pela luz incidente, A o ângulo vertical do prisma, i e r os ângulos da luz incidente e refletida, respetivamente. Como na proposição de desvio mínimo $i = r$, vem que $2i = \delta + A = 108^{\circ}8''$, pois δ tinha sido determinado como sendo de $44^{\circ}56'$ e o prisma tem um ângulo vertical de $63^{\circ}12''$.

31', compatível com o Diâmetro Solar, enquanto o ângulo subjacente ao comprimento valia mais de 5 vezes tal diâmetro, ou seja, 2° 49'.

Tendo realizado estas observações, primeiro calculei, a partir delas, o poder refrativo do vidro tendo-o encontrado igual à *razão* dos senos, 20 para 31²⁸. E então, através daquela *razão*, calculei as Refrações de dois Raios provenientes de partes opostas do *disco* do Sol, tendo portanto uma diferença de 31' no seu ângulo de incidência, e encontrei que os raios emergentes deveriam ter um ângulo de 31', como tinham antes de incidir no vidro.

Mas porque este cálculo era baseado na Hipótese da proporcionalidade dos *senos* de Incidência e Refração, a qual por minha própria Experiência eu não poderia imaginar que fosse tão errônea de modo a produzir um Ângulo de 31', o qual na realidade era de 2° 49'; novamente a minha curiosidade fez-me retomar o meu Prisma. Tendo-o colocado na minha janela, como antes, observei que rodando-o um pouco em torno do seu *eixo* para um lado e para o outro, de forma a variar a sua obliquidade em relação à luz de 4 ou 5 graus, as Cores não eram desse modo sensivelmente deslocadas do seu lugar na parede e conseqüentemente por via dessa variação de Incidência, a quantidade de Refração não variava de modo sensível. Portanto por esta Experiência bem como pelos cálculos anteriores, era evidente que a diferença da Incidência dos Raios, oriundos de diversas [3078] partes do Sol, não poderia fazê-los após a interseção, divergir em um ângulo tão sensivelmente maior que aquele com o qual convergiram; o que, sendo no máximo de 31 ou 32 minutos, ficava ainda outra causa para ser encontrada de modo a explicar que o ângulo pudesse ser de 2° 49'.

Então comecei a suspeitar se os Raios após atravessarem o Prisma, não se moveriam em linhas curvas e de acordo com a sua maior ou menor curvatura tendessem para partes diferentes da parede. A minha suspeita aumentou quando me recordei de ter visto frequentemente uma bola de Tênis, após um toque oblíquo da Raquete, descrever uma linha curva. Pois, sendo comunicado tanto um movimento circular como linear [à bola] por aquele toque, as suas partes no lado onde os movimentos se adicionam, devem pressionar e bater o Ar contíguo mais violentamente do que a outra [parte], e aí provocar uma resistência e reação do Ar proporcionalmente maior. E pelo mesmo motivo, se os Raios de luz pudessem ser talvez corpos globulares, e pela sua

²⁸ O ângulo de incidência da luz no prisma era de 54° 4' e o ângulo de refração metade do ângulo A, i.e., 31° 36'. Como Newton usava a relação invertida segue-se que o índice de refração seria de 1,55 (20/31). Shapiro (1979, p. 96) apresenta o poder dispersivo de vários tipos de prisma salientando um aspeto importante: Newton, ao contrário do que acontece agora, media o poder dispersivo usando os extremos do espectro, enquanto as modernas tabelas usam linhas intermédias.

passagem oblíqua de um meio para outro adquirissem um movimento circular²⁹, eles deviam sentir uma maior resistência do Éter envolvente nesse lado onde os movimentos se adicionam, e assim serem continuamente empurrados para o outro. Mas apesar desta base plausível de suspeição, quando eu a examino, não observo tal curvatura neles. E além do mais (o que bastaria para os meus propósitos) eu observei que a diferença entre o comprimento da Imagem e o diâmetro do orifício, através do qual a luz é transmitida, era proporcional à sua distância.

A remoção gradual destas suspeitas conduziu-me ao *Experimentum Crucis*, que foi este: Tomei duas placas e coloquei uma delas atrás e perto do Prisma que estava à janela, de tal modo que a luz passasse através de um pequeno orifício feito na placa com esse propósito e incidisse na outra placa que coloquei a cerca de 12 pés (30 cm) de distância, tendo antes feito também um pequeno orifício, para que alguma da luz incidente passasse. Então coloquei um outro Prisma atrás da segunda placa, de tal modo que a luz, passando através das duas placas, também pudesse passar no prisma e fosse assim novamente refratada antes de atingir a parede. Feito isto, peguei no primeiro Prisma e rodei-o lentamente para um lado e para o outro em torno do seu *Eixo*, tantas vezes quanto o necessário para que as diversas partes da Imagem formada na segunda placa passasse através do orifício, de modo a que pudesse observar para que lugares na parede o segundo Prisma a refrataria. [3079] E eu vi, pela variação desses lugares, que a luz, tendendo para aquela extremidade da Imagem em direção à qual a refração do primeiro Prisma foi feita, sofreu no segundo Prisma uma Refração consideravelmente maior que a luz tendendo para a outra extremidade. E assim a verdadeira causa do comprimento daquela Imagem foi encontrada como sendo não outra do que a *Luz* ser constituída por *Raios diferentemente refrangíveis*, os quais sem qualquer diferença nas suas incidências, foram, de acordo com os seus graus de refrangibilidade, transmitidos em direção a diferentes partes da parede.

Quando percebi isto deixei de lado os meus trabalhos com Vidros óticos acima mencionados, pois notei que a perfeição dos Telescópios estava até agora limitada, não tanto pela necessidade de vidros devidamente feitos segundo as prescrições dos Autores Óticos (o que todos tinham imaginado até agora), mas porque a luz, ela mesma, é uma *mistura Heterogénea de Raios diferentemente refrangíveis*. Deste modo, onde um vidro tão exatamente feito que reunisse um qualquer tipo de raios em um ponto, não poderia reunir de igual modo aqueles que tendo a mesma Incidência sobre o mesmo Meio são aptos a sofrer diferente refração. Ainda assim me maravilhei que vendo tão

²⁹ Newton está a considerar a hipótese de Grimaldi segundo a qual a luz encurvava após passar por uma fenda estreita. (Hall, 1990)

grande a diferença de refrangibilidade, como eu achei, os Telescópios chegaram a tal perfeição como os encontramos atualmente. Pois, medindo as refrações em um dos meus Prismas, encontrei que supondo que o *seno* de Incidência sobre um dos seus planos fosse de 44 partes, o *seno* de refração dos Raios da extremidade vermelha das Cores, saindo do vidro para o Ar, seria de 68 partes e o *seno* de refração dos raios da outra extremidade seria de 69 partes de tal modo que a diferença é de aproximadamente de 1/24 ou 1/25 partes da refração total. Em consequência a lente objetiva de qualquer Telescópio não pode fazer convergir todos os raios que provêm de um ponto no objeto no seu *foco* em menos de um espaço circular, cujo diâmetro é a 1/50 parte do Diâmetro da sua Abertura, o que é uma irregularidade algumas centenas de vezes maior do que aquela que uma *lente* de forma circular, de uma secção tão pequena como são as Objetivas de um longo Telescópio, poderiam causar por deformação na sua forma, fosse a Luz *uniforme*.

Isto levou-me a considerar as *Reflexões*, e encontrando-a regular, de tal modo que o Ângulo de Reflexão de qualquer espécie de Raios eram iguais aos seus Ângulos de Incidência, entendi que por seu intermédio, instrumentos Óticos poderiam vir a ter qualquer grau de perfeição imaginável, desde que uma substância *Refletora* pudesse ser [3080] encontrada a qual pudesse ser polida tão finamente como o Vidro, e *reflita* tanta luz como o vidro *transmite*, bem como a arte de lhe dar uma figura *parabólica* seja atingida. Mas isso pareciam serem dificuldades muito grandes que quase as pensei insuperáveis, quando além do mais considerei que cada irregularidade em superfícies refletoras fazem os raios desviarem-se 5 ou 6 vezes mais do seu devido curso, do que irregularidades semelhantes numa superfície refratora: Então uma muito maior curiosidade seria aqui um requisito do que em fazer vidros para refração.

Entre estes pensamentos, fui forçado a sair de *Cambridge* devido ao Surgimento da Praga, e mais de dois anos passaram antes de eu prosseguir. Mas então tendo pensado sobre um método simples de polimento adequado para metal, pelo qual, como imaginei a forma poderia ser corrigida tanto quanto o necessário, comecei a experimentar o que poderia fazer neste sentido, e gradualmente aperfeiçoei tanto um instrumento (nas suas partes essenciais igual ao que enviei para *Londres*), através do qual pude observar as 4 Acompanhantes de Júpiter, e mostrei-as por diversas vezes a duas pessoas do meu conhecimento. Pude também discernir a fase tipo-Lua de *Vénus* mas não muito distintamente nem sei algum cuidado na disposição do instrumento.

Nessa época fui interrompido até este último Outono, quando fiz o outro [instrumento]. E como este era sensivelmente melhor do que o primeiro (especialmente para Objetos Diurnos), então não duvidei que eles seriam levados a muito maior

perfeição pelos esforços daqueles que, como me informou, a isso se dedicam em *Londres*.

Eu pensei por vezes fazer um *Microscópio*, o qual de modo semelhante, deveria ter em lugar de uma objetiva em Vidro, um metal Refletor. E isto espero que eles também tomem em consideração, pois estes Instrumentos parecem tão suscetíveis de aperfeiçoamento como os *Telescópios*, e talvez mais, pois não mais do que uma peça refletora de metal é necessária, como pode perceber pelo diagrama, onde AB representa a peça de metal, CD o vidro ocular, F o seu Foco comum, e o outro Foco do metal no qual o objeto é colocado.



[3081] Mas para voltar desta digressão, digo-vos que a Luz não é idêntica ou homogênea mas consiste em Raios dissemelhantes, alguns dos quais mais refrangíveis do que outros; de tal modo que daqueles que incidem de modo semelhante em algum meio, alguns serão mais refratados do que outros, e isto por nenhuma virtude do vidro ou de outra causa exterior, mas por uma predisposição que cada raio particular tem de sofrer um particular grau de refração.

Prosseguirei agora para vos informar de outra e mais notável diferença nos Raios, da qual provêm a *Origem das Cores*. A respeito da qual exporei primeiro a *Doutrina*, e depois, para o seu exame, dar-lhe-ei uma ou duas *experiências*, como amostra do restante.

Encontrará a Doutrina explicada e ilustrada nas seguintes proposições.

1. Assim como os Raios de luz diferem no grau de Refrangibilidade, também diferem na sua faculdade de exibir esta ou aquela cor em particular. Cores não são *Qualidades da Luz*, devidas a Refrações, ou Reflexões sobre corpos naturais (como é geralmente aceite), mas *propriedades Originais e inatas*, que são diversas em Raios diversos. Alguns Raios dispõem-se a exibir a cor vermelha, e não outra; alguns outros o amarelo e não outra, alguns o verde e não outra, e assim por diante. Nem há apenas Raios próprios e particulares para as cores mais importantes, mas também para todas as gradações intermédias.

2. Ao mesmo grau de Refrangibilidade corresponde sempre a mesma cor, e à mesma cor corresponde sempre o mesmo grau de Refrangibilidade. Os Raios *menos Refrangíveis* são dispostos a exibirem a cor *Vermelha*, e reciprocamente aqueles Raios

que se dispõem a exibir a cor Vermelha, são todos os menos refrangíveis; Assim os Raios *mais refrangíveis* são todos dispostos a exibirem uma intensa *Cor Violeta*, e reciprocamente aqueles que são aptos a exibirem a cor violeta, são todos os mais Refrangíveis. E assim para todas as cores intermédias numa série contínua correspondendo a graus de refrangibilidade intermédios. E esta Analogia entre cores e refrangibilidade é muito precisa e estrita; os Raios ou sempre concordam em ambos ou discordam proporcionalmente de ambos.

3. A espécie de cor e grau de Refrangibilidade próprio a alguma espécie particular de Raios, não muda com a Refração nem por Reflexão sobre corpos naturais, nem por qualquer outra causa que eu pudesse ter observado. Quando um qualquer tipo de Raios for bem [3082] separado de outros de outro tipo ele retém depois, obstinadamente, a sua cor, malgrado os meus maiores esforços para a alterar. Eu refratei-o com Prismas, e refleti-o com Corpos que na luz do Dia eram de outras cores; eu intercetei-o com filmes coloridos de Ar entre duas lâminas de vidro. Foi transmitido através de Meios coloridos e através de Meios irradiados por outros tipos de Raios e confinei-os de formas diversas, e ainda assim nunca obtive nenhuma nova cor da precedente. Contraíndo ou dilatando tornava-se mas viva ou mais ténue, e pela perda de muitos Raios, em muitos casos muito obscuro e escuro, mas nunca consegui ver uma mudança *em espécie*.

[4.] Podemos obter ainda assim uma aparente transmutação de Cores, onde há uma mistura de diversas espécies de Raios. Pois nessas misturas as cores componentes não aparecem, mas, aliando-se mutuamente, constituem uma cor intermédia. E por conseguinte, se por refração ou por qualquer das causas anteriormente mencionadas, os diversos raios latentes em tal mistura forem separados, surgirão cores diferentes da cor da composição. Estas cores não são geradas de Novo, mas apenas tornadas Visíveis por separação; pois sendo de novo inteiramente misturadas elas irão novamente compor a cor que havia antes da separação. E pela mesma razão, Transmutações feitas por convergência de diversas cores não são reais, pois quando os diversos Raios forem novamente separados exibirão as mesmas cores que exibiam antes de entrarem na mistura. Como vê, pós *Azul* e *Amarelo*, quando bem misturados, aparece ao olho nu como *Verde*, e ainda assim as Cores dos corpúsculos Componentes não são por isso realmente transmutadas mas apenas misturadas. Pois quando visto com um bom Microscópio, eles ainda aparecem como *Azul* e *Amarelo* independentemente.

5. Há portanto dois tipos de Cores. Umas originais e simples, outras compostas destas. As cores Originais ou primárias são *Vermelho*, *Amarelo*, *Verde*, *Azul* e *Violeta*-

púrpura, juntamente com Laranja e Índigo, e uma variedade indefinida de gradações Intermediárias.

6. As cores da mesma *Espécie* das Primárias podem também ser produzidas por composição: Pois uma mistura de *Amarelo* e *Azul* faz *Verde*; de *Vermelho* e *Amarelo* faz *Laranja*; de *Laranja* e *Verde amarelado* faz *amarelo*. E em geral, se cada duas Cores é misturada, que não estejam, na série de cores gerada pelo Prisma, muito [3083] distantes uma da outra, elas, pela mistura gerada, compõem a cor que na referida série fica a meio caminho das duas. Mas aquelas que estão situadas muito distantes não fazem isso. *Laranja* e *Índigo* não produzem o intermédio Verde, nem Escarlata e Verde o intermédio amarelo.

7. Mas a mais surpreendente e bela composição foi aquela da *Brancura*. Não há nenhuma espécie de Raios que, só, a possa exhibir. Ela é sempre composta, e para a sua composição são necessárias todas as já mencionadas Cores primárias, misturadas na devida proporção. Frequentemente tenho contemplado com Admiração que, feitas convergir todas as Cores do Prisma e assim voltarem a estar misturadas como antes estavam na luz que foi Incidente no Prisma, é reproduzida luz completa e perfeitamente branca, e de modo algum diferindo sensivelmente da Luz *direta* do Sol, a não ser que os vidros usados não fossem suficientemente claros, pois então eles tenderiam ligeiramente [a luz] para as *suas* cores.

8. Daqui portanto vem que a *Brancura* é a cor usual da *Luz*. Pois a *Luz* é um agregado desordenado de Raios de todas as espécies de Cores à medida que eles são enviados das várias partes dos corpos luminosos. E de tal agregado confuso, como disse, é gerada a Brancura se houver uma adequada proporção de Ingredientes. Mas se algum deles predominar a luz deve tender para aquela cor, como acontece na chama Azul do Enxofre, na chama amarela da Vela; e nas várias cores das estrelas Fixas.

9. Uma vez consideradas estas coisas, o *modo* como são produzidas as cores pelo Prisma é evidente. Pois dos Raios constituindo a luz incidente, e uma vez que aqueles que diferem em cor diferem proporcionalmente em refrangibilidade, *eles* devido às suas refrações desiguais devem ser separados e dispersados numa forma oblonga numa sucessão ordenada do menos refratado Escarlata para o mais refratado Violeta. É a mesma razão pela qual os objetos, quando vistos através de um Prisma, aparecem coloridos. Pois os diferentes Raios, pelas suas Refrações desiguais, são feitos divergir em direção a várias partes da *Retina*, e aí exibem a Imagem das coisas [de maneira] colorida, como no caso anterior eles fizeram à Imagem do Sol sobre a parede. E por esta desigualdade de refrações elas tornam-se não apenas coloridas mas também muito confusas e indistintas.

10. Porque as Cores do *Arco-íris* aparecem em gotas [3084] da Chuva é também daqui evidente. Pois, essas gotas que refratam os Raios dispostos a aparecerem púrpura em maior quantidade aos olhos dos observadores, refratam os raios de outras espécies muito menos, de modo a fazê-los passar ao lado; e essas são as gotas no interior do *Arco Primário* e no exterior do *Secundário* ou Exterior. E essas gotas que refratam em grande quantidade os Raios dispostos a aparecerem vermelho em direção aos olhos dos Observadores, refratam os raios de outras espécies muito mais, de modo a fazê-los passar ao lado; e essas são as gotas na parte exterior do arco *Primário* e na parte interior do *Arco Secundário*.

11. Os Fenómenos curiosos de uma infusão de *Lignum Nephriticum*, *Folha de Ouro*, *Fragmentos de vidros coloridos*, e alguns outros corpos transparentes coloridos, surgindo numa posição com uma cor, e em outra [posição] com outra [cor] já não são, por estes motivos, enigmas. Pois essas são substâncias aptas a refletir uma espécie de luz e a transmitir outra; como pode ser observado numa sala escura, iluminando-as com luz similar ou não composta. Pois então elas aparecem apenas de aquela cor com a qual são iluminadas, mas numa posição, mais vívida e luminosa do que noutra, de acordo com a sua disposição maior ou menor para refletir ou transmitir a cor incidente.

12. Daqui é também clara a razão de uma Experiência inesperada que o Sr. Hook relata na sua *Micrographia* ter efetuado com dois recipientes transparentes em forma de cunha, cheio de uma solução vermelha, um, e azul o outro: a saber, ainda que separadamente eles eram suficientemente transparentes, ainda assim, juntos tornavam-se opacos. Pois se um transmite apenas vermelho, e o outro apenas azul, nenhum raio podia passar através de ambos.

13. Eu podia adicionar mais exemplos desta natureza, mas concluirei com esta de caráter geral, a saber, que as Cores de todos os Corpos naturais, não têm outra origem a não ser esta; que eles estão diferentemente qualificados para refletir uma espécie de luz em maior quantidade que outra. E isso eu experimentei numa Sala escura iluminando esses corpos com luz não composta de diversas cores. Pois através deste meio qualquer corpo pode ser feito aparecer de qualquer cor. Eles não têm ali qualquer cor própria, surgindo sempre com a cor da luz projetada sobre eles, mas contudo com esta diferença: que eles são mais brilhantes e vívidos na luz da cor que exibem à luz do dia. *Minium* apareceu lá em qualquer cor indiferentemente da qual o iluminou, mas ainda assim mais luminoso no vermelho; e da mesma forma [3085] *Bise* apareceu indiferentemente da cor com o qual foi ilustrado, mas ainda assim mais luminoso no azul. E portanto *Minium* reflete Raios de qualquer cor, mas mais abundantemente aqueles ligados ao vermelho; e conseqüentemente quando iluminados com luz do dia,

ou seja, com todas as espécies de Raios bem misturados, aqueles qualificados com vermelho abundarão mais na luz refletida, e pela sua preponderância provoca que apareça dessa cor. E pela mesma razão, *Bise*, refletindo azul mais abundantemente, deverá aparecer azul pelo excesso desses Raios na sua luz refletida; e o mesmo para os outros corpos. E que isto é a completa e adequada causa das suas cores é manifesto, porque eles não têm poder para mudar ou alterar a cor de qualquer tipo de Raios incidentes separadamente, mas tomam todas as cores indiferentemente, com as quais são iluminados.

Estas coisas sendo assim, não pode ser mais contestado, nem se há cores no escuro, nem se elas são qualidades dos objetos que vemos, nem talvez se a Luz é um Corpo. Pois uma vez que Cores são *qualidades* da Luz, tendo os seus Raios como sujeitos completos e imediatos, como pudemos pensar esses Raios como *qualidades* também, a não ser que uma qualidade seja sujeito de uma e sustentáculo de outra; o que de facto é chamá-la de *Substância*. Nós não poderíamos conhecer os Corpos por substâncias não fossem as suas qualidades sensíveis, e a Principal das quais sendo agora encontrado ser devido a uma outra coisa, temos boa razão para acreditar que seja uma Substancia também.

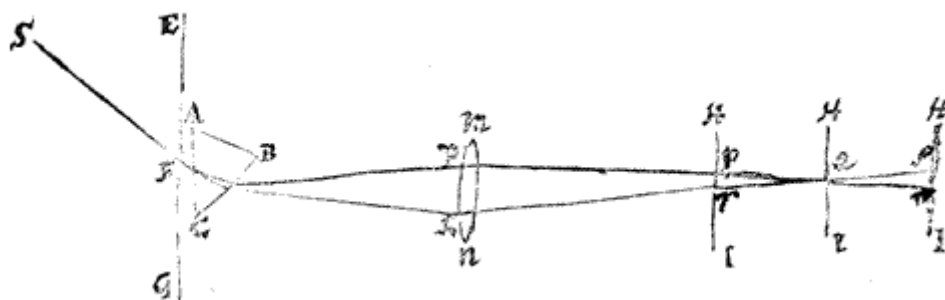
Além disso, quem alguma vez pensou qualquer qualidade como sendo um agregado *heterogéneo*, como se descobriu que é a Luz [?]. Mas para determinar mais completamente o que a Luz é, de que modo refrata, e por que modos ou ações ela produz na nossa mente as Sensações das cores, não é tão fácil. E eu não misturarei conjecturas com certezas.

Revendo o que escrevi, vejo que o próprio discurso conduz a diversas Experiências suficientes para o seu exame: E portanto não o incomodarei mais, a não ser para descrever uma delas, a qual eu já dei a entender.

Em uma Sala escurecida faça um orifício numa janela, cujo diâmetro pode com conveniência ser de cerca de uma terça parte de uma polegada [0,8 cm], de modo a deixar entrar uma quantidade conveniente de luz do Sol: aí coloque um Prisma transparente e sem cor para refratar a luz que entra em direção ao lado mais distante da Sala, que, como eu disse, será assim difundida numa Imagem oblonga e colorida. Então coloque uma *lente* de [3085] cerca de três pés [7,6 cm] de raio (suponhamos uma lente Objetiva de um Telescópio de 3 pés), a uma distância de quatro ou cinco pés [10 ou 13 cm], através da qual essas cores possam ser transmitidas, e pela sua Refração feitas convergir a uma distância de cerca de 10 ou 12 pés [25 ou 30 cm]. Se a essa distância intercalar essa luz com uma folha de papel branco, verá as cores convertidas novamente em brancura através da sua mistura. Mas é necessário, que o *Prisma* e a

Lente sejam mantidos estáveis, e que o papel, em que as cores são projetadas seja deslocado para a frente e para trás; pois com esse movimento, encontrará não apenas a que distância a brancura é mais perfeita, mas também verá, como as cores gradualmente se juntam e se extinguem em brancura, e após se terem cruzado nesse lugar onde compõem a Brancura, são novamente disseminadas e separadas, e em ordem inversa apresentam as mesmas cores que tinham antes de entrarem em composição. Pode também ver que, se alguma das Cores na *Lente* é interceptada, a brancura será alterada em outra das cores. E portanto, para que a composição da brancura seja perfeita, deve ser tomada precaução, de que nenhuma das cores caia fora da *Lente*.

No esquema anexo desta Experiência, ABC representa o Prisma colocado longitudinalmente à vista, perto do orifício F da janela EG.



O seu Ângulo vertical deve, por conveniência, ser de cerca de 60 graus: MN indica a *Lente*. Sua largura 2 1/2 ou 3 polegadas [6,3 ou 7,6 cm]. SF é uma das linhas retas nas quais os raios compostos podem ser concebidos como fluindo sucessivamente do Sol. FP e FR, [representam] dois desses Raios desigualmente refratados que a *Lente* faz convergir em direção a Q, e após interseção divergem de novo. E HI o papel, a diversas distâncias, sobre o qual as cores são projetadas: a qual em Q forma-se a *Brancura*, mas são *Vermelho* e *Amarelo* em R, r e p, e *Azul* e *Púrpura* em P, p e π.

Se prosseguir para testar a impossibilidade de mudar qualquer cor não composta (como declarei nas Proposições terceira e décima terceira), isso exige que a Sala seja colocada muito escura para evitar que qualquer luz dispersada se misture com as cores, as perturbem e dissipem, e as tornem composta, contrariamente ao objetivo da Experiência. É um requisito também que haja uma separação mais perfeita das Cores, que a separação realizada por Refração como descrita, por um único Prisma. E não será difícil fazer tal separação para aqueles que considerem as descobertas leis da Refração. Mas se experiências forem feitas sem uma completa separação de cores, devem ser consideradas mudanças proporcionais à mistura. Assim, se luz Amarela composta incidir sobre o Azul do *Bise*, o Bise não surgirá perfeitamente amarelo, mas

antes verde, porque seguiram na mistura amarela muitos raios verdes, e sendo o Verde menos longínquo da cor azul comum do Bise do que o amarelo, é a mais abundantemente refletida.

De modo semelhante, se uma qualquer das cores Prismáticas, suponhamos o Vermelho, for intercetada, de modo a mostrar o que afirmámos da impossibilidade de voltar a obter aquela Cor das outras que são transmitidas, é necessário, ou que as cores sejam muito bem separadas antes do vermelho ser intercetado, ou que juntamente com o vermelho, as cores próximas, pelas quais o vermelho está secretamente disperso (ou seja, o amarelo, e talvez o verde também), também sejam intercetadas, ou senão que seja permitida a emergência de tanto vermelho quanto possível, do verde [e] amarelo, que poderia ter sido difundido e misturado nessas cores. E se estas coisas forem observadas, uma nova Produção de Vermelho, ou de outra cor antes intercetada será impossível.

Isto, penso, basta para uma Introdução a Experiências deste género; e se algum dos membros da *R. Society* estiver tão curioso ao ponto de as realizar estarei muito contente por saber do sucedido: e se alguma coisa parecer defeituosa ou contrariar este relato, possa ter uma oportunidade de dar mais indicações a esse propósito, ou de reconhecer os meus erros, se cometi alguns.

Até aqui, esta Culta e muito Engenhosa Carta, que tendo sido entregue por aquela *Companhia Ilustre*, perante a qual foi lida, com muito louvor levada à consideração de alguns dos seus Membros bem versados nestas matérias, o Leitor pode possivelmente em um outro *Tratado* ser informado de algum relato dado sobre este Discurso.

Apêndice E

**Materiais didáticos de Ótica, Astronomia,
Eletricidade e Magnetismo**

Apontamentos de Ótica

Introdução

A Ótica é uma área da Física que estuda a luz, o seu comportamento e interação com a matéria. Em particular, procura compreender e utilizar dispositivos e instrumentos que funcionam utilizando a luz, nomeadamente lentes, espelhos, ou sistemas de lentes e espelhos³⁰, bem como compreender a visão.

Aliás, a compreensão da visão foi o fator que deu origem à Ótica, que, sendo atualmente um ramo da Física, é uma das mais antigas áreas do conhecimento. A origem etimológica do termo “ótica” revela a sua origem geográfica e temporal: Vem do Grego “*ops*”, que significa olho. Foi na Grécia Antiga por volta do século V a.C., que um conjunto de filósofos começou a procurar na natureza as causas e as explicações para os fenómenos naturais. Em particular, a procura de explicação para as questões relacionadas com a visão, bem como a busca de um entendimento desse processo, levou a que os filósofos naturais escrevessem, sucessivamente, novos tratados sobre Ótica.

Um longo caminho foi percorrido até que no século XVII, com Johannes Kepler (1571 – 1630), astrónomo e matemático alemão, se estabeleceram os fundamentos da ótica geométrica moderna. No entanto, esse trabalho teria sido impossível, se não fosse a tradução para latim dos escritos dos Antigos, a sua tradução para árabe e o inovador trabalho dos árabes (em particular na ótica), e depois a tradução do árabe para latim dos desenvolvimentos entretanto obtidos pelos árabes. Quando Isaac Newton começou a dar aulas em Cambridge, o tema que escolheu para escrever um manual foi a ótica, dando origem às suas *Lições de Ótica* (escritas em Latim) que constituiu a base para o seu livro intitulado *Ótica* (escrito em inglês), publicado em 1704, mais de 30 anos após as *Lições*.

Objetos luminosos e iluminados

Um objeto pode ser luminoso ou iluminado. Um objeto luminoso é uma fonte de luz. As fontes de luz, para serem vistas, necessitam apenas que a sua luz entre no olho,

³⁰ Falamos em sistemas de lentes quando referimos, por exemplo, um telescópio, um microscópio, ou uma câmara fotográfica. Um exemplo de um sistema de espelhos será um periscópio. [A luneta](#) usada por Galileu no início de 1610 era composta por duas lentes, a objetiva, plano-convexa e a ocular, plano-côncava.

enquanto os objetos iluminados necessitam de uma fonte de luz que os ilumine. Essa luz é então refletida e alguma dela entra pelos nossos olhos, permitindo-nos ver objetos não luminosos. Um planeta é um exemplo de um objeto não luminoso (Figura 1): Todas as imagens que vemos de planetas, ou da Lua, resultam da reflexão da luz do Sol pela sua superfície ou atmosfera, ou, regra geral, por ambas.

Na Figura 2 podemos ver a representação esquemática da propagação da luz a partir de uma fonte de luz. Escolhemos um ponto arbitrário na fonte de luz e representamos um cone, com vértice nesse ponto. Claro que de todos os outros pontos da fonte de luz, é emitida luz que pode ser representada da mesma forma. Mas nós, regra geral, estamos interessados numa direção em particular.



Figura 1. Imagem de Júpiter com as cores realçadas obtida pela sonda Voyager 1³¹. (Fonte: JPL)



Figura 2. Uma fonte de luz emite, a partir de cada ponto, luz em todas as direções. Em particular emite luz em direção a objetos não luminosos.

³¹ As sondas [Voyager 1](#) e Voyager 2 foram lançadas em 1977 pelos E.U.A. Hoje as Voyagers continuam a emitir sinais e [foram das missões espaciais mais bem sucedidas da história da humanidade](#). A Voyager 1 já se encontra fora do Sistema Solar, no espaço interestelar.

Cada ponto de um objeto luminoso ou iluminado emite ou reflete luz em todas as direções. Este princípio fundamental foi descoberto pelos filósofos naturais árabes Al Kindi (c. 801 – 873) e Ibn al-Haytham (c. 965 – 1040), conhecido no mundo cristão por Alhazen. Os seus tratados tiveram grande influência nos estudos posteriores em variadíssimas áreas da matemática e da filosofia natural, como até ao século XVIII se chamava à Ciência.

Que fontes de luz conhecemos? O Sol, claro. Ele é a grande fonte de luz natural no nosso Sistema Solar. Fora do Sistema Solar, todas as outras estrelas são fontes de luz natural. Como fontes de luz artificiais temos as lâmpadas e todos os dispositivos equivalentes, como a chama de uma vela. Objetos que não são luminosos e que não são iluminados não conseguimos ver.

Consequências da propagação da luz em todas as direções

Uma fonte de luz emite uma certa quantidade de luz visível. A medida dessa quantidade é denominada fluxo luminoso. Claro que uma fonte de luz, como o Sol, ou uma lâmpada, também emite luz que não é visível. Se tocarmos numa lâmpada sentimos a sua superfície quente, por vezes mesmo muito quente. Isso significa que parte significativa da luz emitida é realizada sob a forma de luz infravermelha. Mas vamos, por agora, falar apenas da luz visível.

Tendo nós referido que o fluxo luminoso é uma medida da quantidade de luz visível, na Tabela 1 estão representados alguns valores aproximados de fluxos luminosos de várias fontes de luz. Consideremos agora a intensidade luminosa que é uma medida do brilho de um fluxo de luz. Vamos considerar o fluxo de luz de uma vela na Figura 3 e do Sol, Figura 4.

Tabela 1
Fluxo de luz emitida por várias fontes. (Os valores apresentados são aproximados)

Fonte de luz	Fluxo de luz (lumen)
Vela	10
Lâmpada incandescente de 60 W	780
Lâmpada incandescente de 75 W	930
Lâmpada fluorescente de 23 W	1550
Sol	10^{28}

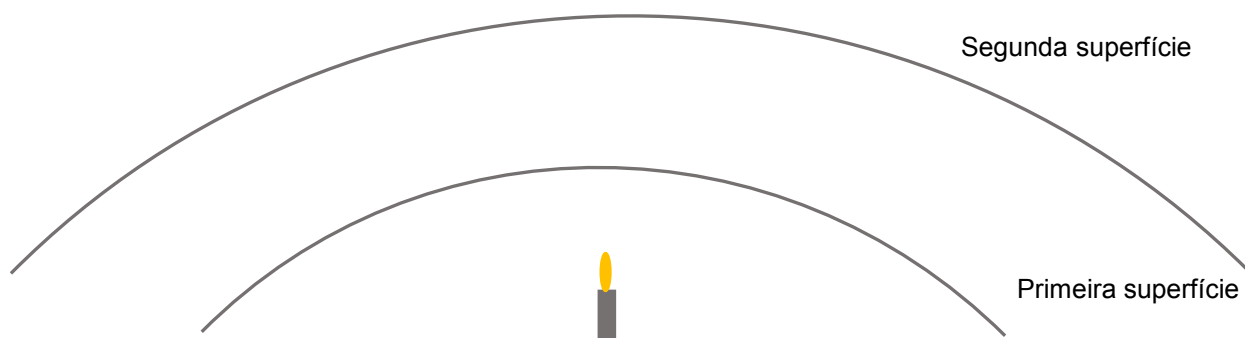


Figura 3. Vela acesa e duas superfícies esféricas imaginárias. Um fluxo de luz constante tem intensidade luminosa diferente

Na Figura 3 temos uma vela acesa e duas superfícies esféricas imaginárias, a diferentes distâncias. A luz da vela propaga-se em todas as direções. Ainda que o fluxo de luz seja o da vela, cerca de 10 lumens, a intensidade luminosa, ou seja o brilho provocado por esse fluxo é maior na primeira superfície do que na segunda. Com o Sol, Figura 4, a situação é em tudo semelhante. A intensidade luminosa na esfera concêntrica imaginária mais perto do Sol, é maior, do que na esfera mais afastada do Sol.

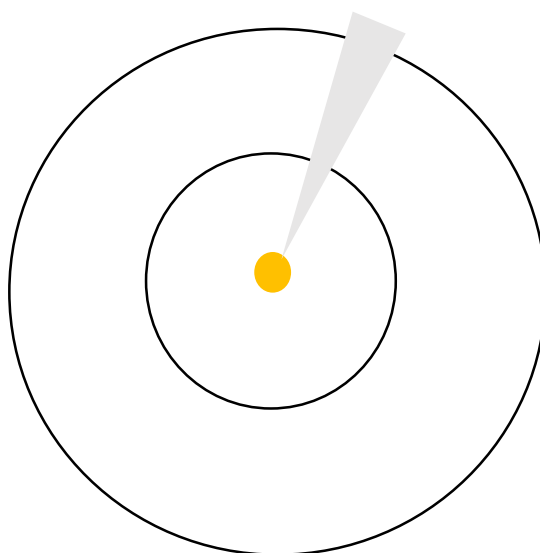


Figura 4. O Sol tem um fluxo de luz da ordem dos 10^{28} lm. Se considerarmos duas esferas concêntricas no Sol (num plano, representam-se por dois círculos), a esfera mais próxima do Sol vai receber a mesma luz mas com mais intensidade luminosa do que a segunda.

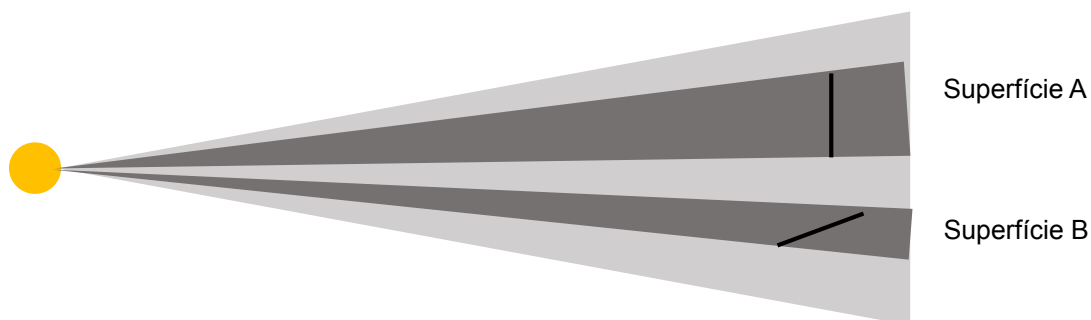


Figura 5. As superfícies A e B têm ambas a mesma extensão. Mas a superfície A tem a sua perpendicular quase na direção da fonte de luz, recebendo um cone de luz maior, do que a superfície B, que está muito desviada

Por fim, interessa-nos ver se a intensidade luminosa em uma superfície iluminada, para um mesmo fluxo de luz, depende do ângulo que a superfície faz com a fonte de luz. Na Figura 5 representamos o Sol e duas superfícies de área igual. A perpendicular à superfície A faz com a direção da fonte de luz, um ângulo muito pequeno (está pouco inclinada), enquanto o ângulo da perpendicular com a superfície B é muito maior (superfície muito inclinada). O que vemos é que a superfície A tem uma intensidade de luz maior, do que a superfície mais inclinada, B.

Formação de Imagens

Quando dizemos que um objeto é visto, estamos a dizer que há formação de uma imagem desse objeto na retina dos olhos de quem vê. Assim é necessário entender um pouco da anatomia do olho humano. A Ótica, aliás, caracteriza-se por ser uma área interdisciplinar. Ou seja, o conhecimento ótico evoluiu e evolui por aumento do conhecimento nas áreas da física, psicologia e anatomia e depois pela integração desse conhecimento. Não era possível explicar a visão sem se conhecer a anatomia do olho.

Esta evolução da Ciência é muito característica. Por um lado há um aumento do conhecimento disciplinar e um saber cada vez mais profundo de uma área muito restrita. A certa altura este processo é complementado com a realização de pontes entre as várias especializações, formando áreas interdisciplinares³².

Ora, pesquisando um pouco na *web* usando um qualquer motor de pesquisa, encontramos centenas, senão milhares de imagens anatómicas do olho. Na figura 6

³² Para saber mais, ver Pombo (2011)

apresentamos um esquema (lado esquerdo) e um modelo (lado direito) desse esquema. A córnea é uma película transparente que cobre a superfície exterior do olho, a íris é um diafragma que abre ou fecha conforme há pouca ou muita luz exterior, a abertura da íris designa-se pupila. O cristalino é uma lente biológica e a retina é a parte interior do globo ocular (um tecido biológico) que é sensível à luz. No nosso modelo, o conjunto córnea e cristalino formam uma lente biconvexa.

As lentes são objetos transparentes à luz. Ou seja, deixam-se atravessar pela luz, sem que nenhuma luz seja absorvida ou refletida. Uma lente apenas muda a direção de propagação da luz. As lentes são, regra geral, de vidro ou de plástico. Muitas das atuais lentes que usamos nos óculos são lentes de plástico, pois a tecnologia de fabricação e manipulação de plásticos permite hoje construir lentes muito finas, com o efeito desejado, em lugar das inestéticas lentes grossas. No caso do olho, a lente formada pelo conjunto córnea e cristalino, é de material biológico.

Podemos classificar as lentes em biconvexas ou bicôncavas. Ainda podemos ter as plano-convexas e as plano-côncavas (ver Figura 7). O nome das lentes, deriva da forma das suas superfícies.

O que uma lente provoca na luz é a mudança da sua direção de propagação. Na figura 8 podemos ver o que uma lente biconvexa e uma lente bicôncava fazem com a luz. Uma lente biconvexa faz com que a luz ‘se volte a unir’ novamente, ou seja, faz a luz convergir, enquanto a lente bicôncava separa ainda mais a luz, fazendo-a divergir.

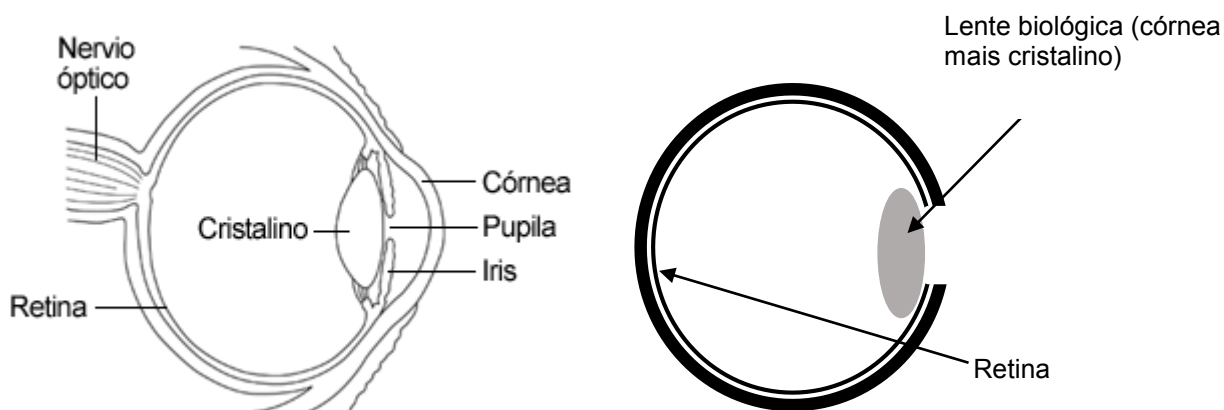


Figura 6. Esquema simplificado da anatomia do olho (esquerda). Modelo que usamos, considerando o cristalino e a córnea como uma única lente biconvexa (direita). (fonte: Arizona State University)

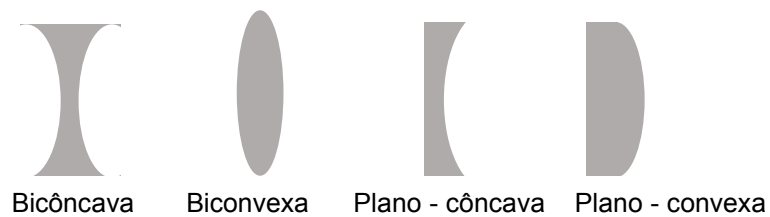


Figura 7. Os quatro tipos de lentes mais usadas nas aulas.

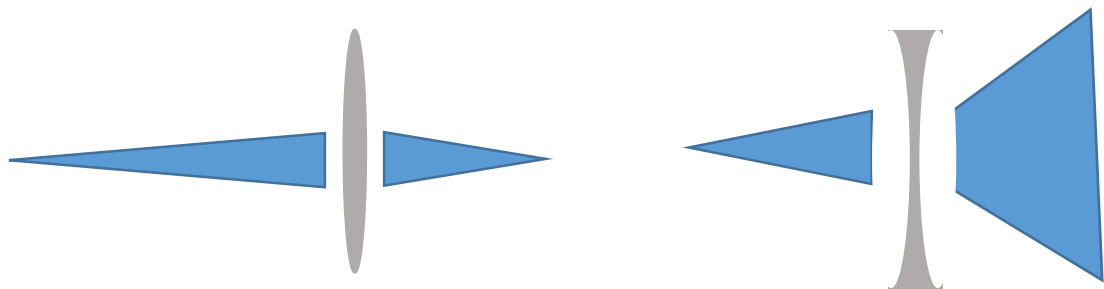


Figure 8. Comportamento da luz ao atravessar uma lente biconvexa (esquerda) e bicôncava (direita).

Então podemos agora compreender a formação de imagens no olho. Sabemos que a parte sensível do olho é a retina. É na retina, ou seja, na superfície interior do olho, que a luz proveniente de cada ponto de um objeto tem de chegar de modo a formar uma imagem desse ponto. E assim para todos os pontos do objeto. Na figura 9 representamos a formação de uma imagem de um objeto. Reparem que a imagem aparece invertida na retina. O nosso cérebro interpreta essa informação e então vemos as imagens direitas. Por seu lado, na Figura 10, apresentamos outro esquema para ilustrar o mesmo processo, mas desta vez introduzindo a fonte de luz.

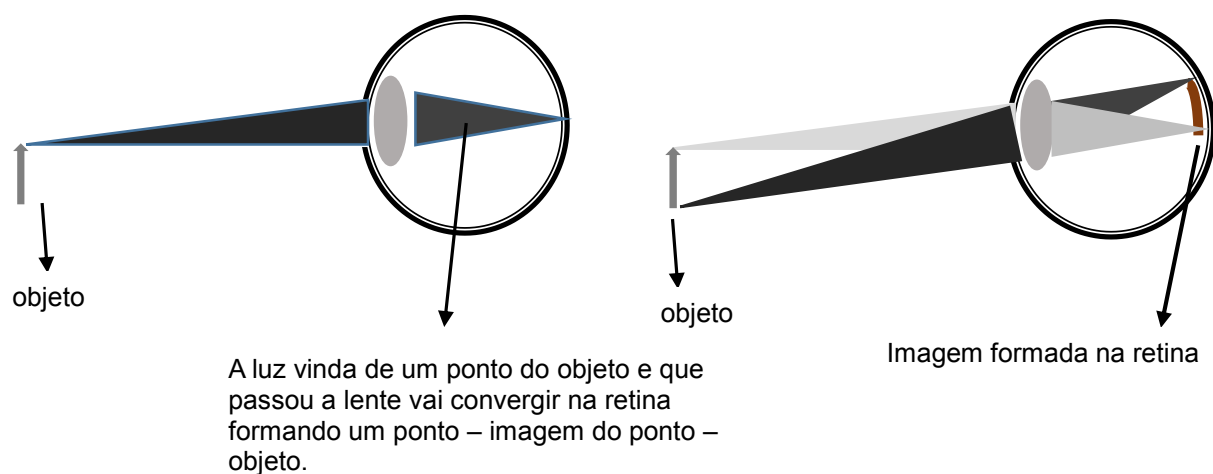


Figura 9. A formação de imagem na retina usando o cone de luz.

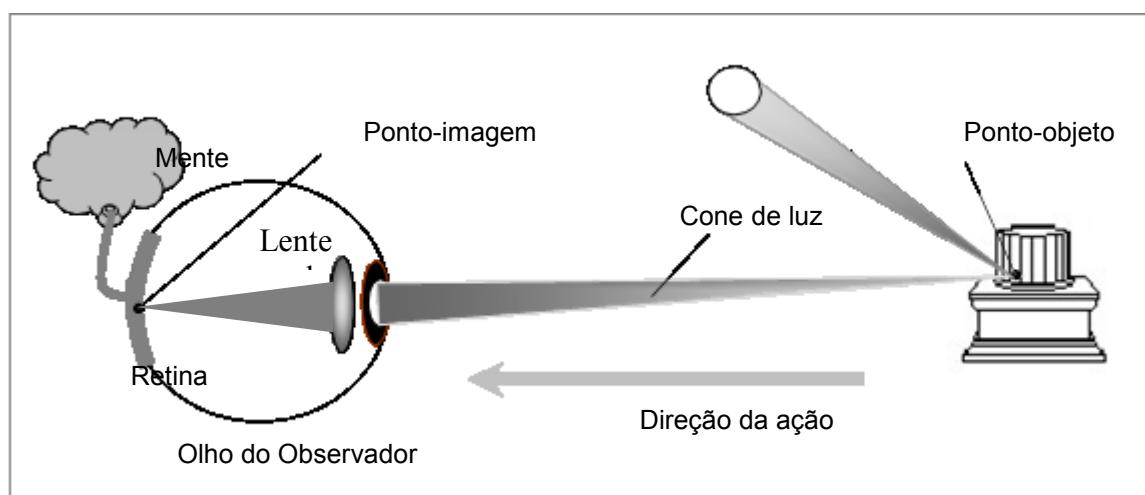


Figura 10. Representação esquemática da solução de Kepler para o problema da visão. Adaptado de Galili (2010).

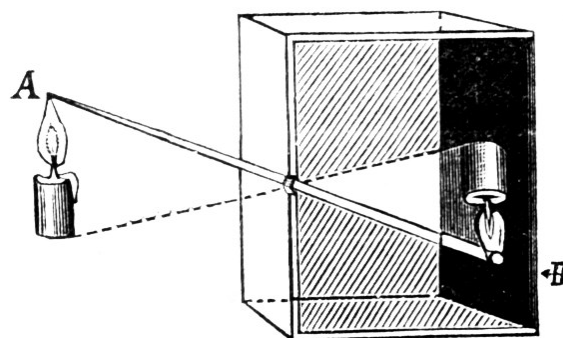


Figura 11. Representação esquemática da formação de imagem usando a câmara obscura. Objeto A, e imagem B. A cada ponto da imagem corresponde um ponto do objeto, e é formado pela propagação de luz desse mesmo ponto. Adaptado de Galili (2010)

Em sala de aula realizámos uma atividade que consistiu na utilização de uma câmara obscura para formar a imagem de uma lâmpada acesa. O esquema, representado na Figura 11 ilustra vários factos relevantes relacionados com a luz. Um deles é a propagação retilínea da luz num mesmo meio ótico. Meio ótico, por definição, é um meio transparente à luz. Num mesmo meio ótico (ar, vidro, plástico, água) a luz propaga-se em linha reta. Como a luz sai do ponto A da vela em todas as direções, alguma luz vai em direção ao pequeno orifício. Essa luz vai formar a imagem em B. O mesmo acontece com a luz da parte inferior da vela. Nas condições do laboratório (havia demasiada luz envolvente, e, principalmente, o orifício era demasiado grande), apenas foi possível ver a imagem da chama da vela, sua parte superior e inferior. Mas de qualquer modo o que vimos foi uma imagem invertida em relação ao objeto, como mostra a Figura 11. A câmara obscura que temos em laboratório é constituída por um material opaco (caixa de cartão, ou lata) e um material translúcido (papel de arquiteto).

Assim, já vimos que os corpos podem ser classificados em transparentes (água, ar, vidro, diamante, alguns plásticos). Os meios transparentes são também chamados meios óticos e permitem a passagem (refração) de toda a luz; Os meios opacos (mesas do laboratório, paredes, planetas, etc.) não permitem a passagem de luz, e os meios translúcidos permitem a passagem de alguma luz mas não em condições para que com ela se possa formar uma imagem – no fundo podemos afirmar que estes meios se identificam por apresentar os corpos do outro lado, desfocados, ou pouco nítidos.

Consequências da propagação retilínea da luz

Quando a luz chega a um corpo opaco ou é absorvida, ou refletida (volta para trás segundo a lei da reflexão) ou, em geral, é parcialmente absorvida e parcialmente refletida. De qualquer dos modos, não é transmitida. Então os corpos e objetos opacos podem criar em outras superfícies zonas de ausência de luz, as sombras. Uma sombra é assim uma zona numa superfície onde não chega luz devido à presença de um objeto opaco entre a fonte de luz e essa superfície.

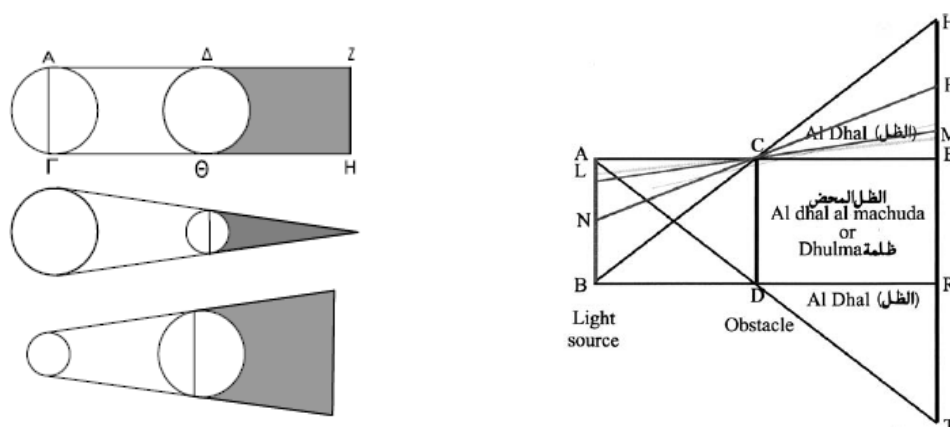


Figura 12. A figura da esquerda devido a Al Kindi (século IX), falha na representação da penumbra, representando apenas zonas de sombra, conforme o obstáculo é igual, menor ou maior do que a fonte de luz. Adaptado de Mihás e Andreadis (2005)

Introdução de um Modelo para a Propagação da Luz

A luz propaga-se a uma velocidade finita com valor de cerca de 300 000 km/s no vácuo. Para termos alguns elementos para apreciar este número, a luz demora 1,3 s da Lua à Terra e 8,3 minutos do Sol à Terra. Da estrela mais próxima, Próxima Centauri, ao Sol, a luz demora um pouco mais de 4 anos a chegar. Demora 100 000 anos a atravessar a nossa galáxia, a Via Láctea, e 2,5 milhões de anos para chegar luz da galáxia de Andrómeda, a grande galáxia espiral mais próxima da galáxia onde estamos.

Estes valores dão uma ideia de dois aspetos importantes. Por um lado a enorme velocidade da luz quando comparamos com velocidades que estamos habituados a perceber - veja-se os pouco mais do que 1 s que a luz demora a chegar da Lua à Terra -, e por outro, as distâncias enormes que estão envolvidas quando começamos a sair da Terra e do Sistema Solar e a olhar a nossa vizinhança – os 100 000 anos que a luz demora a atravessar a nossa galáxia! Essas distâncias também estão fora de uma compreensão imediata e fácil. Esta propriedade da luz, a sua velocidade, não é captada pelo modelo que usamos para representar a luz em ótica geométrica.

Em ótica é comum representar a direção e sentido de propagação da luz num mesmo meio ótico pelo seguinte modelo:



A este modelo chama-se 'raio de luz.' No entanto é importante ter sempre presente que um modelo não é aquilo que pretende representar, mas apenas uma parte da realidade. Assim, com o raio de luz, não temos qualquer informação sobre a velocidade finita da luz, a perda de intensidade luminosa à medida que esta se propaga, nem temos qualquer informação sobre o que é a luz. No entanto o raio de luz é um modelo cheio de potencialidades para explicar muitos fenómenos. Daí, desde Euclides e Ptolemeu que ele nunca mais saiu dos estudos de ótica.

Assim, podemos simplificar algumas representações anteriores usando este modelo.

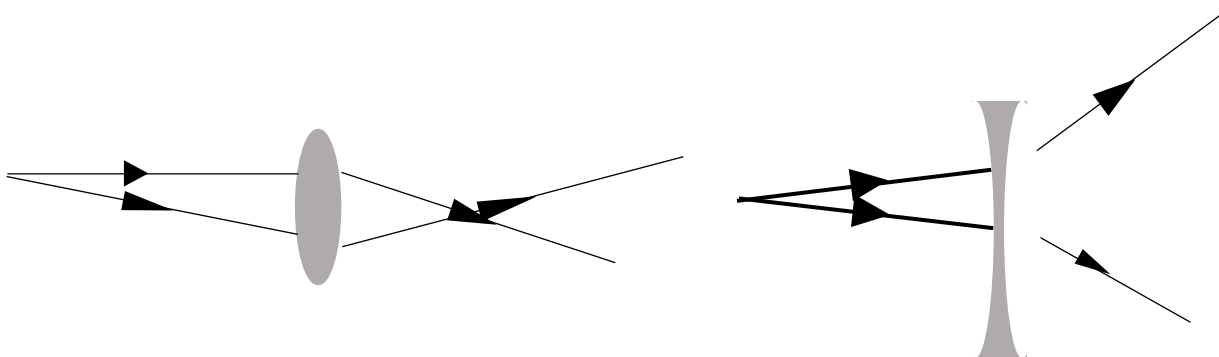


Figura 13. Uso do raio de luz para representar o efeito de uma lente biconvexa (esquerda) e de uma lente bicôncava (direita) na propagação da luz. Comparar com a Figure 8.

Aproximação da ótica geométrica

Como certamente notaram, a representação que temos realizado de lentes, é uma representação em que elas apresentam espessura, mas onde não descrevemos o que se passa com a luz no interior da lente. De facto vamos fazer a seguinte aproximação: as lentes têm uma espessura tão fina, que não vamos ter em conta essa espessura.

Esta aproximação é a chamada aproximação das lentes finas, e é muito usada em ótica geométrica. Assim, ainda que para efeitos de representação gráfica representemos as lentes com espessura, não vamos considerar o efeito dessa espessura.

Refração da Luz

Dizemos que a luz é refratada, ou que sofreu uma refração, quando passa de um meio ótico para outro. Por exemplo, quando a luz passa do ar para a água, sofre uma refração – ou então quando passa do vidro para o ar, da água para o plástico etc. É na fronteira entre os dois meios óticos que a luz é refratada. Este fenómeno manifesta-se não apenas pela mudança de meio onde a luz se propaga, mas também pela mudança de direção de propagação da luz.³³

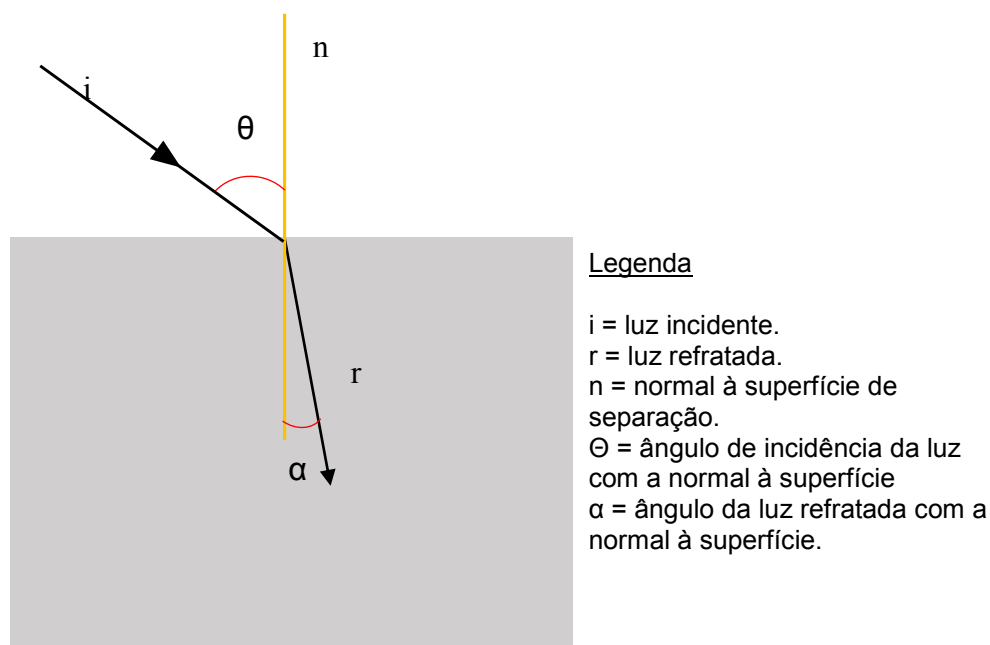


Figura 14. Esquema da refração da luz.

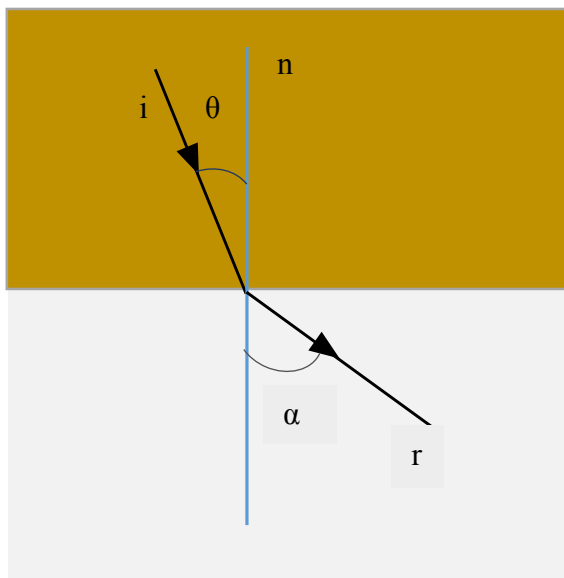
Na refração, a luz passa de um meio ótico para outro, ou seja, atravessa a superfície de separação entre os dois meios. A duas dimensões, essa superfície é representada por uma linha. Na Figura 14, temos uma representação da propagação da luz no ar (luz incidente) até chegar e entrar na água: A luz passa de um meio menos denso³⁴ para um mais denso. Na zona onde a luz chega à água (superfície de separação) traçamos uma perpendicular, ou normal à superfície (traço amarelo). A luz refratada está representada numa direção mais próxima da perpendicular do que a luz incidente (o ângulo α é menor que o ângulo θ).

³³ A mudança de direção da luz é resultante da sua mudança de velocidade. Esta só tem o valor de 300 000 km/s no vácuo. Em outros meios têm velocidades inferiores.

³⁴ Densidade é uma propriedade dos materiais e é o quociente da massa pelo volume. Intuitivamente sabemos que o ar é menos denso que a água, ou que a água é menos densa que o vidro. Ordenação dos meios óticos mais usados por ordem crescente de densidade: Ar, água, plástico, vidro. Normalmente a distinção é muito clara e não levanta problemas.

Quando a luz passa de um meio ótico menos denso para outro mais denso, aproxima-se da normal à superfície.

De outro modo, se considerarmos que a luz passa de um meio ótico mais denso, por exemplo um plástico, para um meio ótico menos denso, como o ar, ou a água, como representado na Figura 15 então o ângulo que a luz incidente forma com a normal à superfície é menor que o ângulo que a luz refratada faz com essa mesma normal: A luz afasta-se da perpendicular.



Legenda

i = luz incidente.
r = luz refratada.
n = normal à superfície de separação.
 θ = ângulo de incidência da luz com a normal à superfície
 α = ângulo da luz refratada com a normal à superfície.

Figura 15. Esquema da refração da luz. Nesta situação consideramos que a luz incidente passa de um meio mais denso para outro menos denso

Então podemos agora enunciar a Lei da Refração³⁵:

Lei da Refração:

- a) Quando a luz passa de um meio ótico menos denso para um outro mais denso, aproxima-se da normal à superfície, ou então,
Quando a luz passa de um meio ótico mais denso para outro menos denso, afasta-se da normal à superfície.
b) A luz incidente, a luz refratada e a normal à superfície estão num mesmo plano.
-

Notemos que as Figura 14 e Figura 15 representam situações inversas: basta mudar o sentido de propagação da luz numa das figuras (indicado pelas setas), para obter a

³⁵ A Lei da Refração tem uma expressão quantitativa que permite, conhecendo o valor dos índices de refração de cada um dos meios e o valor do ângulo da luz incidente, determinar o valor do ângulo da luz refratada: $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$. Para efeitos práticos o índice de refração é maior num meio mais denso, pelo que utilizamos a densidade relativa entre dois meios para uma abordagem qualitativa à Lei da Refração.

outra figura. A luz incidente não tem de incidir “de cima” e a luz refratada propagar-se “para baixo”. A Figura 16 representa a refração da luz em esquemas devidamente legendados e de uso comum.

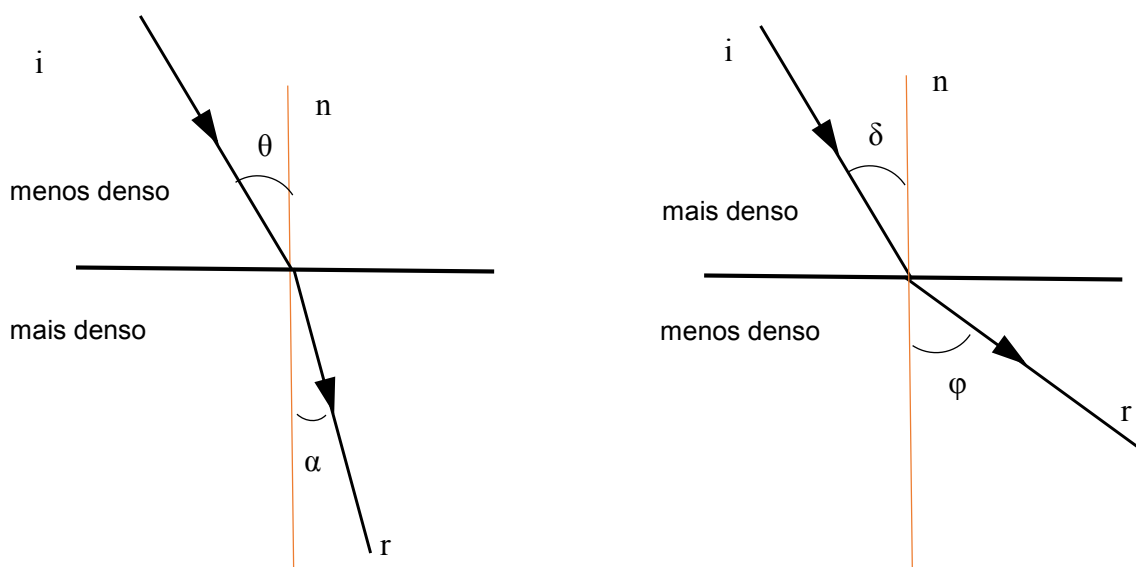


Figura 16. Esquemas de refração da luz. Refração da luz ao passar de um meio ótico menos denso para um meio ótico mais denso (esquerda). Refração da luz ao passar de um meio ótico mais denso para um meio ótico menos denso (direita).

Espelhos

Juntamente com as lentes, os espelhos são instrumentos óticos e objetos de uso comum. Os espelhos podem-se classificar em planos, convexos e côncavos.

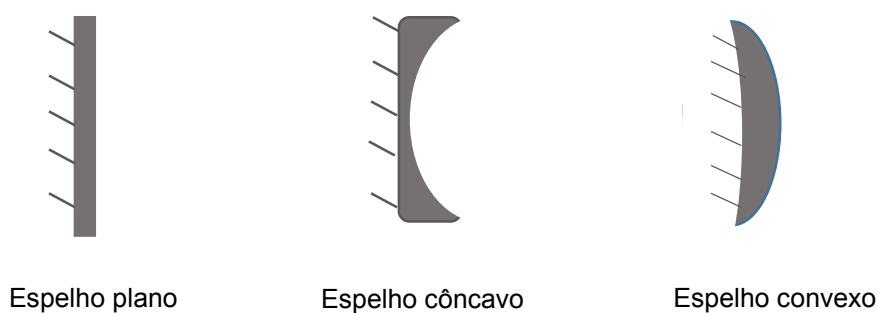


Figura 17. Representação esquemática de um espelho plano (esquerda), côncavo (centro) e convexo (direita). Os traços representam a parte de trás do espelho.

Quando a luz incide numa superfície, é refratada se for a superfície de um meio ótico, ou refletida, se for a superfície de um objeto opaco, seja ele espelhado ou rugoso.

A reflexão da luz obedece a uma lei, conhecida desde a Antiguidade Grega.

Lei da Reflexão

Lei da Reflexão

- a) Quando a luz incide numa superfície com um determinado ângulo com a normal, é refletida segundo o mesmo ângulo;
b) A luz incidente, a luz refletida e a normal à superfície estão num mesmo plano.

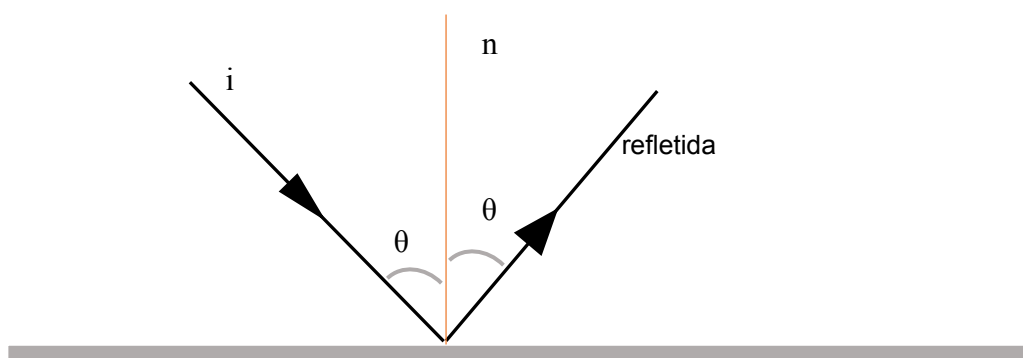


Figura 18. Esquema representando a reflexão da luz.

Numa superfície curva também podemos facilmente determinar qual a direção da luz refletida, dada a direção da luz incidente, como se mostra na

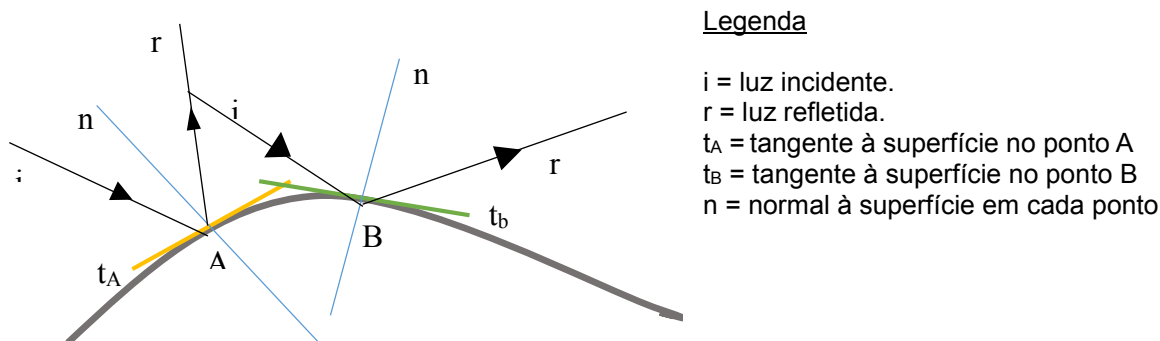


Figura 19. Representação esquemática da direção de reflexão em dois pontos diferentes de uma curva arbitrária dada a direção da luz incidente.

O maior problema que pode surgir é não sabermos exatamente qual a tangente a um ponto. No entanto isso não nos deve causar problemas de maior. Desenhemos a tangente de modo aproximado: o objetivo é determinar a normal à tangente. Num círculo

sabemos que a normal à circunferência num ponto passa pelo centro da curva e corta o círculo nesse ponto.

Reflexão espelhada e reflexão difusa

As Lei da Reflexão e da Refração não têm exceções. No entanto nas condições dos objetos que nos rodeiam na vida do dia-a-dia, apenas quando olhamos para superfícies espelhadas, como espelhos ou superfícies de um lago calmo (existe uma quantidade enorme de imagens de lagos com imagens de margens na web, bastando, para as ver, pesquisar em qualquer motor de busca) vemos uma direção privilegiada de reflexão: a direção em que o ângulo da luz refletida é igual ao ângulo da luz incidente com a normal à superfície.

De resto o que obtemos nas restantes superfícies é uma reflexão difusa. A luz incidente segundo uma determinada direção é refletida em todas as direções. Esta situação, conforme descoberto por Alhazen, não contraria a Lei da Reflexão, que estava bem estabelecida desde Arquimedes (287 – 212 a.C.). De facto, à exceção dos corpos espelhados ou polidos, os restantes corpos apresentam, a nível

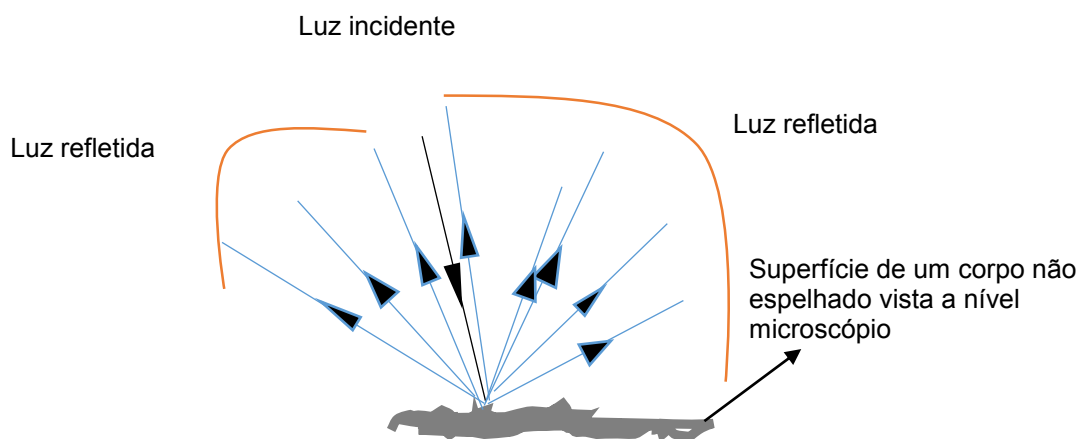


Figura 20. As superfícies dos materiais e objetos do dia-a-dia (à exceção de espelhos) fazem uma reflexão difusa da luz.

microscópico fortes irregularidades. O que nos aparece como liso ao tato é muito irregular se observado a outra escala. Assim, o ambiente luminoso dos locais onde vivemos, em particular de nossa casa, surge muito mais confortável com uma luz que é refletida de forma difusa pelas paredes, mesas, chão etc. Forrar o quarto de espelhos criaria grande desconforto visual.

Reflexão Total

O fenómeno da Reflexão Total, representa um processo físico que acontece quando a luz se propaga de um meio ótico mais denso para outro menos denso, mas o ângulo de incidência é tal, que já não consegue passar, ficando no mesmo meio. Vejamos a Figura 21.

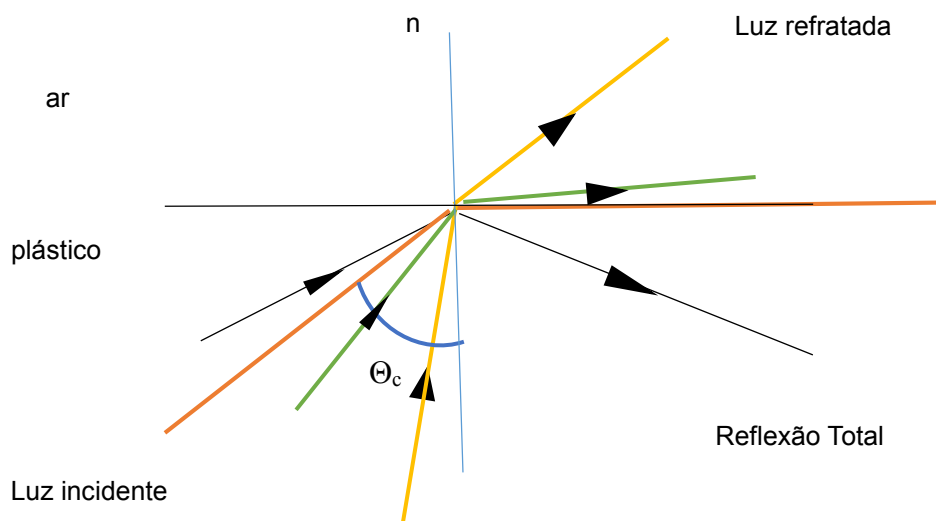


Figura 21. Quando a luz passa de um meio ótico mais denso para um menos denso, existe um determinado ângulo, chamado ângulo crítico θ_c abaixo do qual há refração e acima do qual a luz já não passa para o outro meio, existindo a Reflexão Total.

O valor do ângulo crítico para a água e o ar é de $48,6^\circ$. Abaixo deste ângulo a luz é refratada. Mas quando a direção de incidência da luz está acima deste valor apenas há reflexão: Dá-se a Reflexão Total. A reflexão total tem inúmeras aplicações, com particular importância nas telecomunicações, onde os cabos de fibra ótica usam esta propriedade da luz em certos materiais.

Refração e reflexão numa superfície entre dois meios óticos

Vimos que quando a luz atinge um objeto opaco ela é refletida (de modo difuso ou espelhado, conforme o objeto). Por outro lado quando a luz atinge a superfície de um objeto transparente ela é refratada, entra no objeto, muda de meio e de direção de propagação.

No entanto, podemos dizer que quando a luz é refratada há sempre alguma quantidade de luz que é refletida. Ou seja: nem toda a luz passa para o outro meio. Por vezes é muito diminuta a luz que é refletida ficando no mesmo meio, mas não é desprezável. Num vidro de um armário vemos os objetos que estão dentro, mas vemos também imagens refletidas de objetos que estão do lado de fora. Ou seja, a luz que chega ao vidro é parcialmente refratada, permitindo-nos ver o interior, e parcialmente refletida (Figura 22). Daqui em diante, quando representarmos a refração, não iremos, por comodidade de escrita, representar a reflexão. No entanto está sempre implícito que alguma luz fica no mesmo meio.

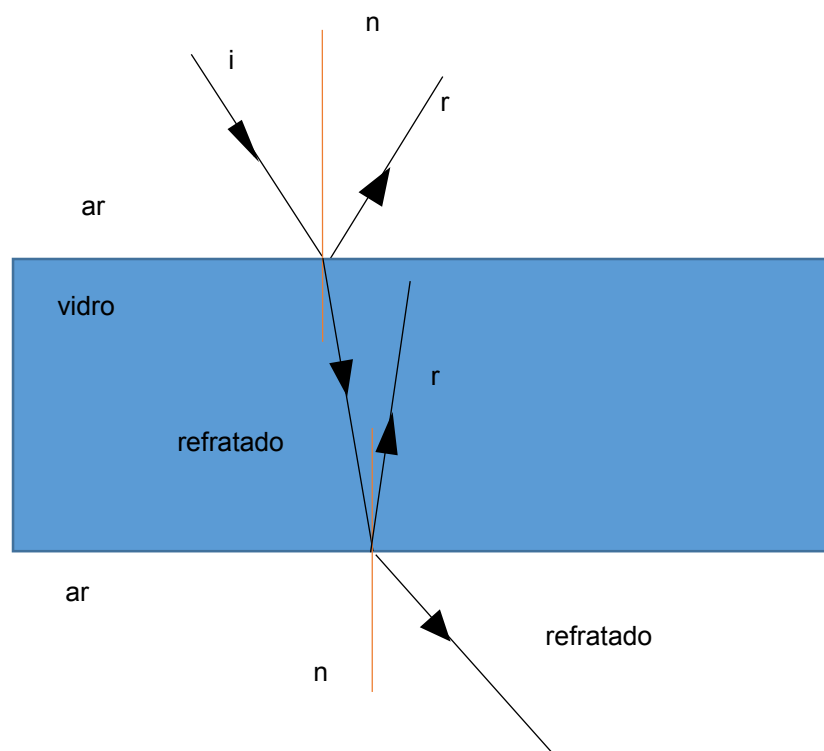


Figura 22. Esquema onde está explícito o facto de que sempre que há uma refração acontece em simultâneo uma reflexão.

Em geral, conforme a qualidade do vidro, o que acontece é que quase toda a luz entra no vidro e apenas uma pequena parte é refletida, mas nem sempre assim acontece e por vezes não é irrelevante a luz que fica no mesmo meio, ou seja, que é refletida.

Cor, Luz e Relação entre Cor e Luz

O Sol é fonte de luz branca e a luz branca é uma luz composta. Isto significa que, por refração, a luz do Sol pode ser separada nas suas componentes sendo que cada

componente, neste contexto, significa luz que vai provocar, quando vista, uma determinada cor³⁶. De facto, na refração, apesar de em média o desvio ser obtido pela lei da refração, a luz que se desvia mais³⁷ é a luz que percebemos como violeta e, por ordem decrescente de desvio, luz que quando a vemos percebemos, sucessivamente como índigo, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho.³⁸

Apenas no fim da década de sessenta do século XVII é que Isaac Newton (1642 – 1727), introduz na filosofia natural (ou seja, na ciência) uma nova concepção da luz e das cores. Numa carta à *Royal Society* intitulada “Nova teoria sobre a luz e as cores”, da qual apresentamos uma tradução [aqui](#), Newton afirma que a luz do Sol não é homogénea e simples, como se pensava desde Aristóteles, mas sim heterogénea e composta: As várias cores não surgiriam como uma modificação da luz ao atravessar um meio ótico, ou ao ser refletida por um corpo, mas já estariam presentes na luz branca original.

A questão levantada por Newton não está na observação do espectro (ver figura 24), que outros antes já haviam observado, mas sim no facto de observar um espectro oblongo, alongado, sendo que a luz entra no prisma de forma circular. Se entra por um orifício circular, porque forma uma distribuição de cores de forma oblonga na tela? A esta questão, Newton disse que a cada cor está associada uma refrangibilidade, ou capacidade de mudança de direção. As cores mais refrangíveis, as que mudavam mais de direção, eram o violeta e o azul, ficando próximas do ponto P na tela (ver figura 23); as que mudavam menos de direção, as menos refrangíveis, eram o vermelho e o laranja, ficando próxima do ponto T.

Newton deu um passo decisivo para mostrar que as cores provocadas pela luz não resultavam de nenhuma modificação da luz branca, ao voltar a juntar a luz separada nas suas componentes (cores) por um prisma, e ao obter o branco novamente. Assim branco não seria mais do que luz de todas as cores juntas.

Bom, de facto não eram necessárias todas as cores para voltar a formar a luz branca. Ainda que imediatamente o grande matemático e filósofo natural holandês

³⁶ Daqui para a frente referimos luz azul, ou luz vermelha, ou luz de uma outra cor, como querendo significar que quando chega aos nossos olhos vemo-la como azul, vermelha, ou de outra cor. A luz, antes de ser vista não tem cor, mas propriedades, como a sua energia, a qual o nosso cérebro interpreta como cores.

³⁷ A luz que se desvia mais em relação à propagação retilínea da luz, é sempre o violeta. Outra forma de dizer é que a luz violeta aproxima-se mais da normal, se for refração da luz entre um meio menos denso e um meio mais denso. Se a refração acontecer entre um meio mais denso para um menos denso, a que fica mais próxima da normal é a vermelha.

³⁸ A definição de sete cores para as cores resultantes da separação da luz branca, e que podemos ver no arco-íris, foi de facto uma arbitrariedade de Newton. Ele adicionou o laranja e o índigo ao vermelho, azul, amarelo, verde, violeta, de modo a ficar com um total de sete. A razão para ele ter feito isso está [aqui](#).

Christiaan Huygens (1629 – 1695) tenha chamado a atenção que bastavam duas cores, amarelo e azul, para formar branco, o que só veio a ser confirmado pelo alemão Helmholtz (1821 – 1894) em 1852, em condições experimentais mais apuradas do que as existentes quase dois séculos antes. O número de cores necessárias para formar a luz branca foi sempre matéria de disputa até que Thomas Young (1773 – 1829) no início do século dezanove e mais tarde o próprio Helmholtz estabelece as bases científicas da teoria tricromática hoje aceite para a resposta fisiológica da retina à luz.

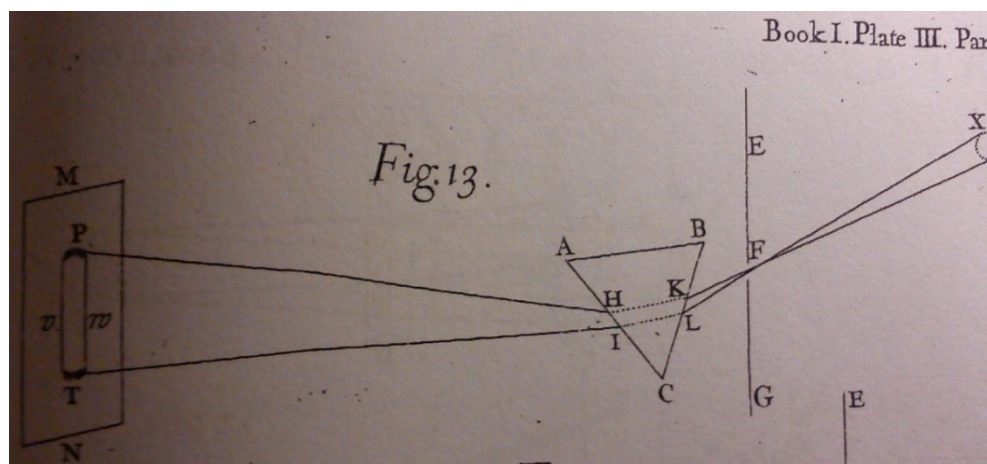


Figura 23. Esquema da montagem experimental da separação da luz do Sol, tal como surge no Livro I da *Optick*. Temos o prisma CAB, a janela EFG, com um orifício circular em F, o Sol em X e uma tela MN, onde se observa o espectro alongado, PT e de lados, vn. Perto da zona indicada pela letra P surgem as cores violeta e azul, perto da zona indicada pela letra T surge a cor vermelha. Comparar com a realização experimental mostrada na figura seguinte.



Figura 24. Espectro obtido por alunas da ESELx no ano letivo de 2011-1012.

Vamos agora ver com mais atenção a Figura 23 onde se mostra que luz que provoca sensação de violeta se desvia mais que luz vermelha, estando estas cores no extremo do espectro da luz visível.

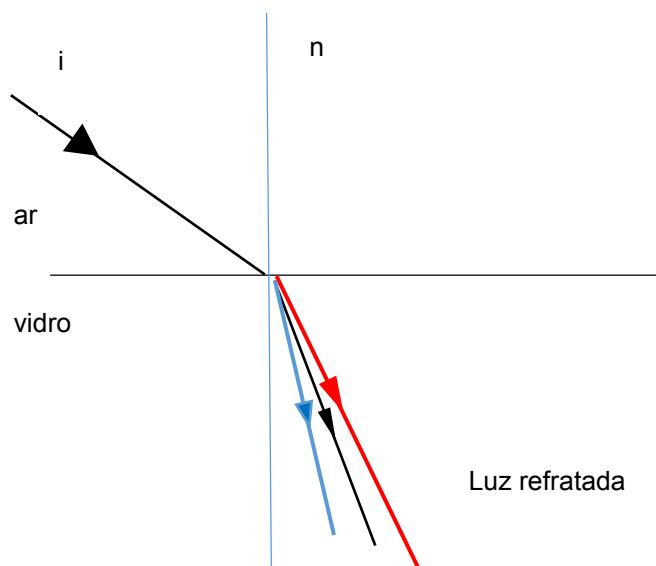


Figura 25. Na refração, a luz é também dispersada.

Sabemos agora que quando há refração da luz branca há, em simultâneo, dispersão, ou seja, separação da luz nas suas componentes (Figura 25 e Figura 26). Nos esquemas onde apenas queremos colocar em evidência a refração, vamos considerar que a luz é monocromática (de uma única cor, mono + *chroma*, palavra grega para cor).

A luz monocromática é produzida por exemplo, pelo LASER. No laboratório usamos um LASER que emite luz monocromática vermelha.

Como vimos um prisma foi o instrumento usado por Newton na separação da luz branca. Os prismas que usamos são em geral feitos de vidro ou de plástico. Hoje temos bons vidros. Mas em meados do século XVII, a obtenção de vidros na forma pretendida e sem muitas impurezas no seu interior era ainda um processo complexo. De certo modo foi Newton que introduziu o prisma como instrumento científico. Vejamos na Figura 26 como um prisma separa as cores. A luz branca incidente é refratada quando entra no prisma. No entanto, e à semelhança do que acontece na Figura 25, é também dispersa, ou seja, separada nas suas componentes. Quando sai, é novamente refratada e dispersa. A representação da luz pela semirreta preta no interior e à saída do prisma é apenas por motivos de conveniência. Ela pode representar, ou o percurso de uma luz monocromática, ou o percurso médio da luz.

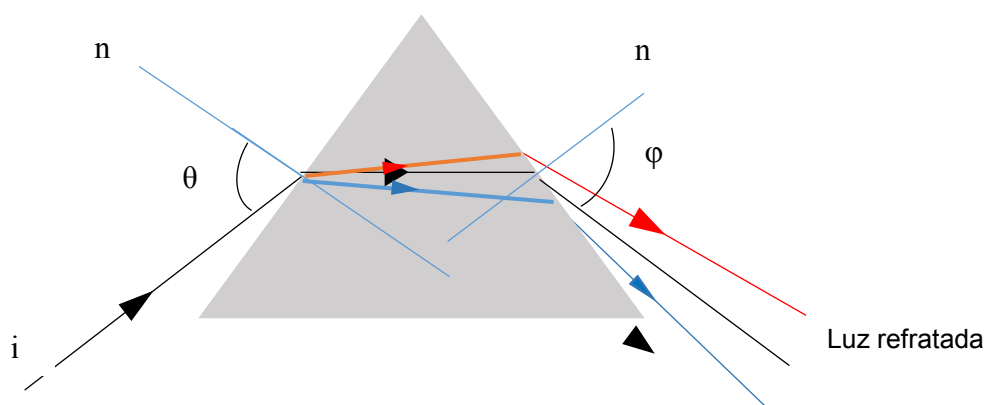


Figura 26. Representação da refração e dispersão da luz branca através de um prisma (representado de lado).

Agora que sabemos que as cores resultam da separação da luz branca, vamos ver que um processo análogo de separação das componentes da luz branca, nomeadamente a absorção seletiva, e transmissão seletiva, dá origem a que vejamos as mais diversas cores quando olhamos para um corpo. Notemos em primeiro lugar que a luz ambiente é em geral luz do Sol, luz branca. É tão natural a sua presença que nem a referimos. Por vezes tentamos diminuir a presença da luz do Sol, luz ambiente, fechando janelas ou por processos semelhantes. Em geral conseguimos mesmo diminuir a entrada de luz do Sol e, em circunstâncias muito cuidadas impedir (sala escura) a sua presença. Mas esse não é o caso dos nossos locais de trabalho e de estudo normais. No nosso laboratório, mesmo com as cortinas fechadas, a luz ambiente está sempre presente. À

noite, temos a presença de luz dos candeeiros, e por mais que os orientemos para outro lado, alguma luz, chega ao local onde estamos a trabalhar. Assim, é importante ter presente que nas atividades seguintes, quando dizemos que ao adicionar luz de cor verde, e vermelha, obtemos amarelo, estamos a partir do princípio que isto é realizado em condições ideais, sem mais luz presente. Por fim, e antes de introduzirmos a síntese aditiva e subtrativa, o facto de a percepção de cor ser um fenómeno fisiológico faz com que as condições particulares e sensibilidade de cada indivíduo à luz seja outro fator importante na abordagem às cores.

Síntese Aditiva e síntese subtrativa

Adicionando luz azul, vermelha e verde, obtemos a cor branca. Usando a terminologia dos artistas plásticos, adotada quase logo por Newton, dizemos que as cores azul, verde e vermelha são cores primárias. As cores ciano, amarelo e magenta, secundárias. As cores secundárias resultam da adição de duas luzes que correspondem a cores primárias. A síntese aditiva corresponde à adição de luz e resultou da compreensão de que a luz branca era uma luz composta, heterogénea. O que é hoje conhecido como síntese aditiva tem assim a sua origem. Vejamos o esquema da Figura 27.

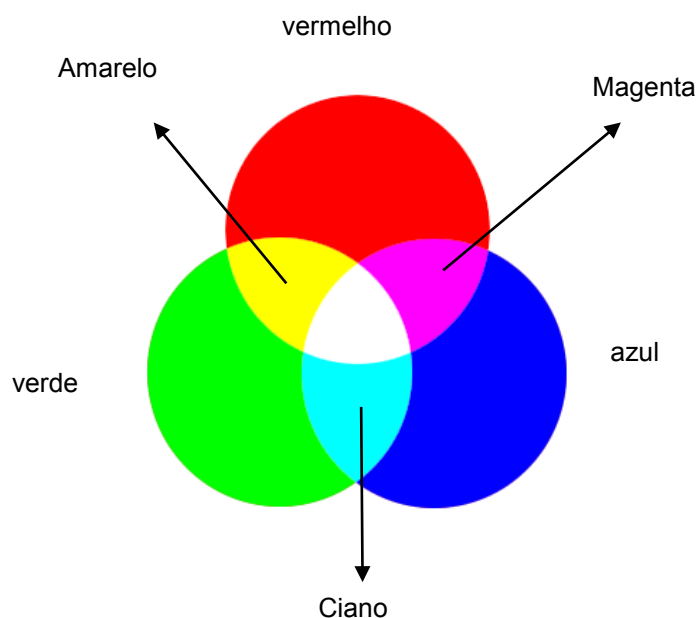


Figura 27. Síntese aditiva das cores.

A síntese subtrativa, por sua vez (Figura 28), resulta da absorção seletiva de luz. Ou seja, vamos supor que temos luz branca formada pela adição de luz azul, verde e vermelha. Se, por exemplo, colocarmos um objeto opaco à frente da luz vermelha,

estamos a subtrair a luz vermelha. Iremos então obter o ciano pois a luz azul e a verde continuam a adicionar-se. Se subtrairmos a luz azul, iremos obter luz amarela e, por fim, se subtrairmos a luz verde iremos obter a luz de cor magenta.

A síntese subtrativa corresponde ao esquema usado na pintura pelos artistas na mistura de pigmentos para a obtenção de tintas de determinada cor usando tintas com pigmentos de duas ou mais cores diferentes. O que faz (à luz) o pigmento de cor amarela? Subtrai à nossa visão a luz azul (supondo que a luz ambiente é a luz do Sol, ou uma luz branca.) Outro modo de fazer a mesma pergunta: O que faz com que um pigmento apresente cor amarela? O facto de absorver essencialmente luz de cor azul. Por outro lado um pigmento que apresenta cor magenta, significa que absorve, preferencialmente a luz verde.

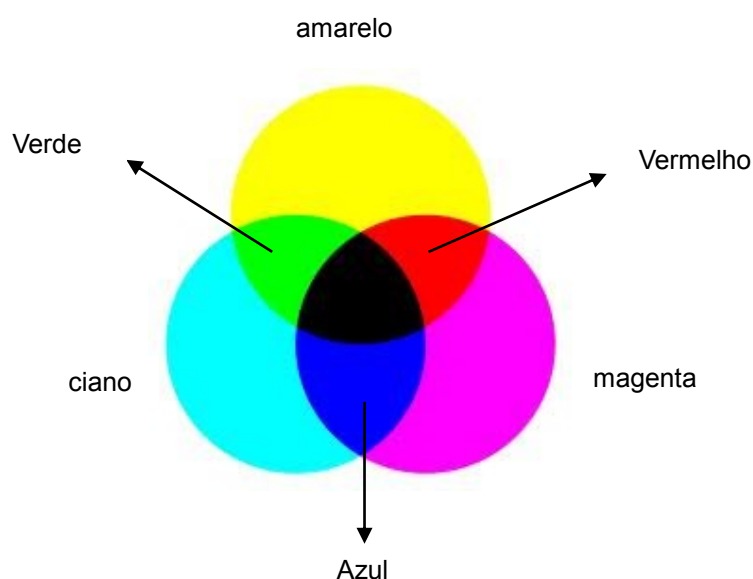


Figura 28. Síntese subtrativa das cores.

Em geral, um objeto que apresenta uma determinada cor (por exemplo vermelho), significa que absorve preferencialmente luz verde e luz azul. Um material apresenta cor azul, ou seja, a luz que chega aos nossos olhos provoca a sensação de azul, porque o material absorve seletivamente a luz: Neste caso absorve luz vermelha e verde.

Assim a cor não é uma propriedade dos objetos mas depende sim, da luz incidente e da luz que é absorvida; dito de outro modo, a cor depende da luz incidente nos objetos e da luz refletida (não absorvida).

O arco-íris, ou as cores que surgem na atmosfera causada pela interação da luz solar com a atmosfera, não têm origem diferente da cor dos objetos.

Formação do arco-íris

O arco-íris é um fenômeno atmosférico que existe quando há Sol e, em simultâneo, inúmeras gotículas de água na atmosfera. A luz branca do Sol chega às gotículas de água e, em cada uma delas, dá-se a separação da luz do Sol. Ou seja, acontece a refração e dispersão. Por outro lado num ângulo que vai de 40° a 42° entre a luz incidente do Sol e a luz do arco-íris que cada um vê, é quando é muito mais abundante a luz refletida no interior da gota de água e menor a quantidade da luz refratada.

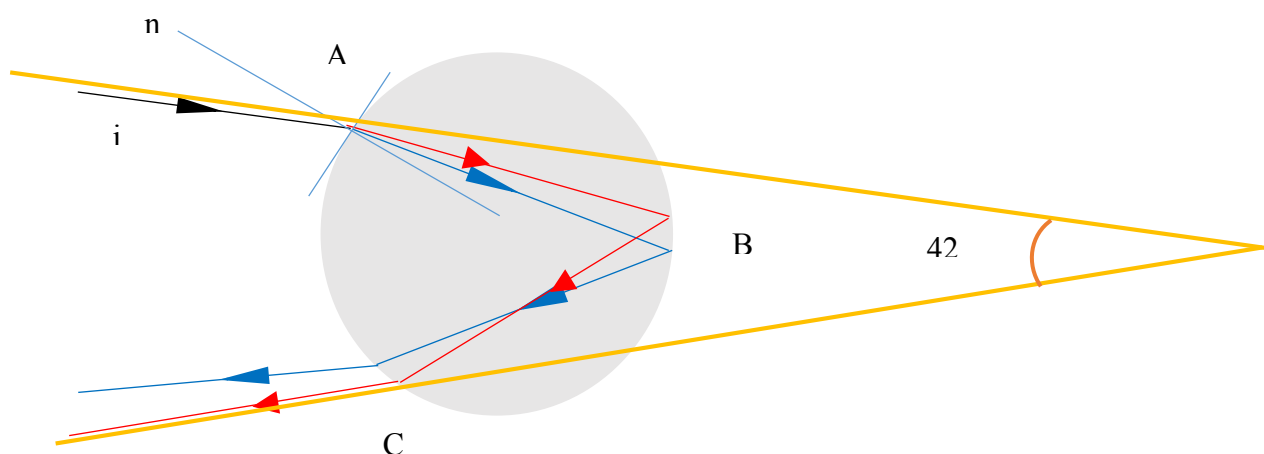


Figura 29. Esquema da refração e dispersão da luz que origina o arco-íris.

Quando vemos um arco-íris, a zona violeta está da parte de baixo (parte interior do arco) e a luz vermelha da parte de cima (zona exterior do arco). Se refletirmos um pouco sobre o esquema da figura 29 perceberemos porquê: A luz violeta sai por cima da luz vermelha (não esquecer que estas representam os extremos, estando as outras cinco cores entre estas). Assim vemos a luz violeta se olharmos para as gotas que estão em baixo. Para vermos a luz vermelha, como esta sai de cada gota, mais baixo do que todas as outras luzes, temos que olhar para as gotas que estão mais em cima.

O ângulo de 42° entre a luz incidente do Sol e a luz refratada que provoca a percepção de vermelho é onde é mais intensa a reflexão no interior da gota (zona B). Mas porque faz o arco-íris um arco? Exatamente devido à necessidade de este ângulo de cerca de 40° (luz azul) e 42° (luz vermelha) onde se verifica a grande intensidade na

reflexão interna, fazendo parte significativa da luz voltar para traz. Note-se que quando vemos o arco-íris, o Sol, está atrás de nós.

Espetro Eletromagnético

O século dezanove foi fértil no conhecimento da luz, após a assimilação do newtonianismo no século anterior. Foram experimentalmente produzidas ondas rádio pelo alemão Heinrich Hertz que haviam sido previstas pelo escocês James Clerk Maxwell vinte anos antes. No entanto as ondas rádio que revolucionariam as comunicações, a sociedade e a cultura de massas no século XX, e que hoje nos permitem usar quotidianamente o telemóvel como instrumento de comunicação não são a única luz diferente da luz visível. Vamos usar os termos radiação ou luz de modo equivalente.

William Herschel (1738-1822), que descobriu o planeta Úrano, o primeiro novo planeta desde a antiguidade, ao procurar a temperatura que correspondia a cada luz que o prisma dispersava, viu que o termómetro colocado ao lado do vermelho era o que tinha a temperatura mais elevada: descobriu-se a luz infravermelha. A radiação X ou Raios-X foi estudada extensivamente pelo alemão Wilhelm Röntgen. Outro alemão, Johann Ritter descobriu que papel embebido em cloreto de prata escurecia quando colocado fora do alcance da luz visível: havia descoberto a luz ultravioleta. A radiação gama, ou raios gama já foram descobertos em 1900, quando se estava a estudar o núcleo atómico. A radiação de micro-ondas apenas no século XX foi diferenciada das ondas rádio.

Todas estas radiações, incluindo a luz visível, têm a mesma característica descoberta por Maxwell, diferindo em energia: têm a mesma velocidade de propagação no vácuo, têm uma variação da intensidade com a distância à fonte igual à da luz visível. Ou seja, têm a mesma natureza.

Por ordem crescente de energia, podemos ordenar o espectro eletromagnético da seguinte forma: Ondas rádio, radiação de microondas, luz infravermelha, luz visível (do vermelho até ao violeta), luz ultravioleta, radiação X e, por fim radiação gama.

Apontamentos de Astronomia

Introdução

A segunda metade do século XVII foi fundamental para a elaboração de uma teoria unificada do movimento dos corpos sob a influência de forças, a dinâmica. Esta, em conjunto com a cinemática e a estática, deu origem a um ramo da física conhecida por Mecânica Clássica. Esta classificação disciplinar é uma classificação moderna, onde a designação de cinemática dada à ciência que estuda o movimento dos corpos sem relação com a força a que estão sujeitos é feita por Ampère³⁹ (1775 – 1836) em 1832 no seu *Essai sur la Philosophie des Sciences* (Ensaio sobre a filosofia das ciências). Pelo contrário a estática, que estuda o equilíbrio dos corpos em repouso já era trabalhada por Arquimedes no fim do século III a.C.

Então, o que hoje temos como um ramo disciplinar da ciência com características bem definidas, resultou de contribuições de muitos filósofos naturais e cientistas ao longo de um vasto período de tempo. Johannes Kepler (1571-1630), que já vimos ter desempenhado um papel fundamental no domínio da ótica, descobriu no início do século XVII as leis que governam o movimento dos planetas, através do estudo dos dados astronómicos das posições de Marte obtidos pelo astrónomo dinamarquês Tycho Brahe (1546 - 1601) – o maior astrónomo antes da invenção do telescópio. A Tycho Brahe, nobre dinamarquês, foi dada por Frederico II a ilha de Hven (atual Ven, entre a Suécia e a Dinamarca), onde em meados do século XVI começou a construir o castelo de Uraniborg que servia de observatório e de residência para Tycho e para os seus muitos auxiliares. Os instrumentos construídos no observatório de Uraniborg foram os instrumentos de medição e observação astronómica mais exatos até à altura (ver Figura 30). Eles incorporaram o conhecimento mais avançado da época. A inovação de Pedro Nunes (que hoje conhecemos por nónio), para aumentar a precisão do quadrante, um instrumento para medir a altura dos corpos celestes, foi conhecida e incorporada por Tycho Brahe (Thoren, 1973, p. 29).

Galileu constrói a sua luneta em 1609 e no início de 1610 observa pela primeira vez a Lua e as suas crateras (Figura 31) observa as manchas solares, um corpo que se pensava perfeito, puro, incorruptível, segundo a filosofia aristotélica, e descobre quatro

³⁹ André-Marie Ampère foi um físico e matemático francês mais conhecido pelo seu trabalho no domínio da eletricidade.

satélites de Júpiter. Nunca antes se pensava que algum corpo pudesse ter um



Figura 30. Quadrante mural de 1582 (incrustado no próprio edifício de Uraniborg). Fonte: Thoren, (1973).

movimento de translação em torno de outro que não a Terra, no sistema aristotélico, em torno do Sol, no sistema copernicano, ou de ambos, no sistema de Tycho Brahe. Galileu também observa muito mais estrelas do que as que se via a olho nu e em poucos meses publica o *Sidereus Nuncius* (O Mensageiro das Estrelas)⁴⁰ onde descreve, com

⁴⁰ Quatro séculos depois da sua publicação, o *Mensageiro das Estrelas* é traduzido e editado em português, com um excelente e muito acessível estudo introdutório realizado pelo historiador da ciência Henrique Leitão. O livro foi editado pela FCG e tem um preço de venda muito baixo sendo

representações esquemáticas e desenhos, as suas observações dando-as a conhecer aos matemáticos e filósofos naturais. Já depois da publicação do *Mensageiro das Estrelas* Galileu observa que Vénus apresenta, como a Lua, fases. Esta observação é um golpe profundo no sistema aristotélico, segundo o qual seria a Terra o centro do Mundo e todos os planetas tinham movimento de translação em torno dela, em favor do sistema coperniciano, devido a Nicolau Copérnico (1473 – 1543), onde seria o Sol e não a Terra o centro do Mundo⁴¹.

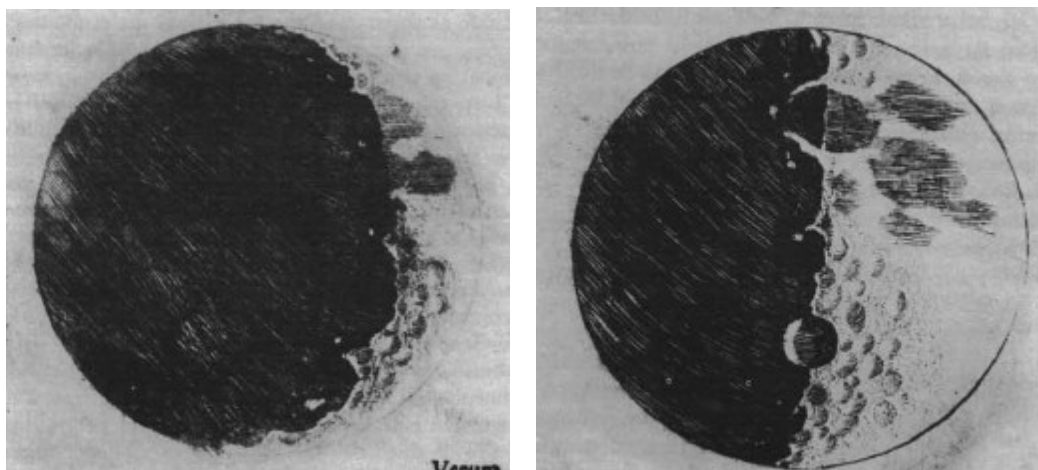


Figura 31. Dois dos desenhos da Lua realizados por Galileu e publicados no *Mensageiro das Estrelas*. Fonte: Galileu (2010, pp. 156–173)

Galileu acaba a discussão em torno da superfície lunar com um apelo. Espera que, para já, “sejam suficientes estas breves coisas que dissemos aqui acerca deste assunto” alertando os leitores que dirá mais no *Sistema do Mundo*⁴². Em particular mostrará que a Terra é um astro errante [que tem movimento] (...) e que não é a lixeira da porcaria e detritos do Universo, e confirmaremos isto com inumeráveis argumentos a partir da natureza.” Esta frase, conforme salienta Henrique Leitão, mostra que a posição central do Universo não era vista pelos contemporâneos como uma posição nobre, privilegiada. De facto, o centro do mundo era também o “em baixo”, o “fundo”,

a sua aquisição e leitura de grande valia (Galileu, 2010).

⁴¹ O sistema mais conhecido na altura e que competia com o sistema aristotélico era o de Tycho Brahe, onde o Sol tinha o seu movimento de translação em torno da Terra, mas os restantes planetas realizavam esse movimento em torno do Sol. Quase ninguém era coperniciano até 1609.

⁴² *Diálogo Sobre os Dois Principais Sistemas do Mundo*, publicado em 1632, 12 anos após o *Mensageiro*. Os dois principais “sistemas” referidos são o Coperniciano, onde a Terra ocupa uma órbita entre Vénus e Marte e todos os planetas têm um movimento de translação em torno do Sol e o Ptolemaico-Aristotélico, onde Todos os Planetas têm um movimento em torno da Terra, sendo esta o centro do Mundo.

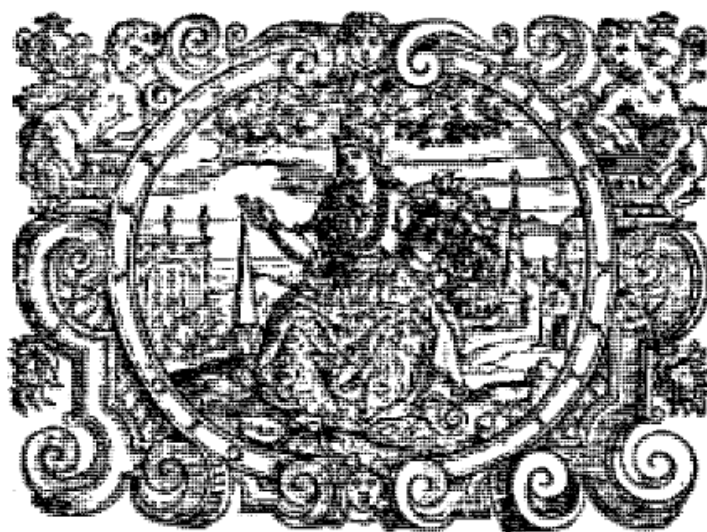
tendo sido o sistema coperniciano que elevou a Terra e o Homem a uma posição mais nobre (Notas de Henrique Leitão em Galileu, 2010, n. 63).

Na capa do *Mensageiro*, Figura 32, podemos ver que Galileu anuncia que o opúsculo contém coisas nunca vistas (“desvela”) e que essas coisas são “grandes e imensamente admiráveis”. Diz também que, embora dirigindo-se a todos, o público-alvo do *Mensageiro* são “Filósofos e Astrónomos”. Na altura os astrónomos detinham uma posição auxiliar e um estatuto social inferior aos filósofos naturais. Era a estes que competia explicar o funcionamento do universo. Galileu apresenta-se como um nobre de Florença professor de matemática na Universidade de Pádua, cargo que viria a deixar nesse mesmo ano. Diz que utilizou uma Luneta concebida por ele. Galileu em outros escritos confere aos Holandeses a descoberta do telescópio, mas o que ele diz é que o que usou foi concebido e realizado por ele, o que é uma versão aceite pela atual historiografia. De seguida enumera as principais descobertas que o leitor encontrará, mas salienta (“e sobretudo”) os “Quatro Planetas” em torno de Júpiter. Dá-lhes o nome de Estrelas Mediceias, em honra à corte dos Médicis em Florença. Esta designação não é inocente e viria a proporcionar-lhe a posição de filósofo natural na Corte, com melhor salário e estatuto social elevado.

A 7 de janeiro de 1610, em Pádua, olhando para o céu com a luneta após as 16h30, Galileu observou Júpiter e viu que “três pequenas estrelas estavam perto dele – pequenas mas muito brilhantes.”⁴³ Ao longo de várias páginas, vai representando esquematicamente as posições relativas das “estrelas” e do Planeta. A 7 de janeiro observa três estrelas, duas a oriente e uma a ocidente de Júpiter (Figura 33), “pequenas mas muito brilhantes” que pensa serem estrelas fixas, ou seja, estrelas como as outras, muito longínquas. No dia seguinte observou para seu espanto todas as estrelas a ocidente do Planeta, achando-as mais perto entre si do que na noite anterior e separadas por intervalos iguais. Mas foi na noite do dia 10, após 3 observações que Galileu percebe que encontrou satélites de Júpiter, prosseguindo a observação, registo e medição das posições, de modo a determinar as suas órbitas. A 12 de janeiro observa

⁴³ Ver (Galileu, 2010, pp. 179–206) para a abordagem de Galileu à sua descoberta dos satélites de Júpiter. Galileu chama de estrelas aos satélites o que é muito normal na época. Mesmo os planetas eram conhecidos como “estrelas errantes”.

MENSAGEIRO¹
DAS ESTRELAS,
 que desvela espectáculos
 GRANDES E IMENSAMENTE ADMIRÁVEIS,
 propondo a cada um, mas sobretudo
AOS FILÓSOFOS E ASTRÓNOMOS, contemplar o que
GALILEU GALILEI,
 NOBRE FLORENTINO²,
 professor de matemática da Universidade de Pádua³,
 observou com o auxílio de uma
LUNETA⁴
por ele recentemente concebida⁵, na FACE DA LUA,
AS INUMERÁVEIS ESTRELAS FIXAS, A VIA LÁCTEA,
NEBULOSAS
e, sobretudo,
QUATRO PLANETAS⁶
 revolvendo em torno de JÚPITER, a distâncias e
 com períodos diferentes, com espantosa rapidez, os quais
 ninguém até hoje divisara, e agora pela primeira vez
 foram vistos pelo Autor
 E POR ELE DESIGNADOS DE
ESTRELAS MEDICEIAS.



Veneza, Tommaso Baglioni, 1610

Figura 32. Capa do Mensageiro das Estrelas na sua tradução portuguesa de Henrique Leitão publicada em 2010.

pela primeira vez os 4 satélites, hoje conhecidos por Europa, Ganimedes, Io e Calisto e

que anuncia ter descoberto na capa do *Mensageiro*.

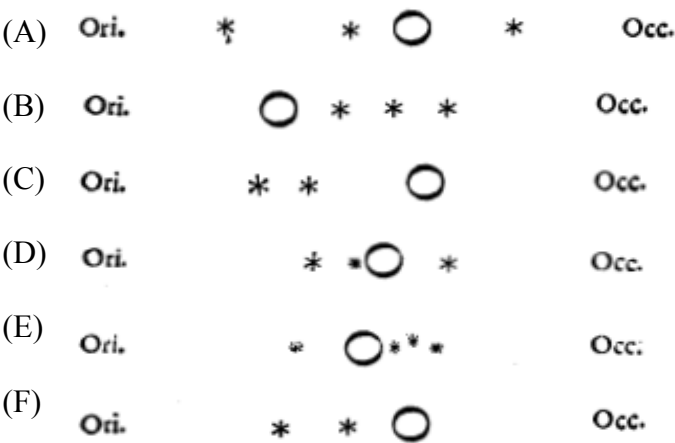


Figura 33. Registo esquemático apresentado por Galileu das observações de Júpiter e dos seus satélites nos dias 7 (A), 8 (B), 10 (C), 11 (D), 12 (E) e 13 de janeiro de 1610 (F).

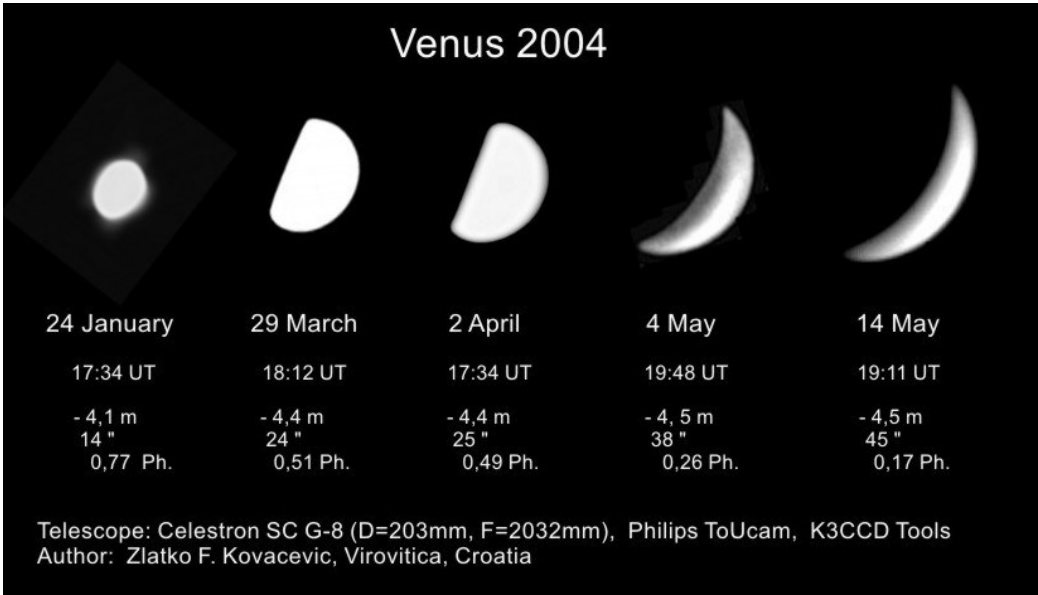


Figura 34. Observação das fases de Vénus em 2004 pelo *European Southern Observatory (ESO)*. Fonte: ESO

Já após a publicação do *Mensageiro*, Galileu observa que o planeta Vénus apresenta fases como a Lua, observa as manchas solares, e os anéis de Úrano.

De facto a observação de que Vénus apresenta fases, significa que por vezes apenas vemos uma parte do planeta iluminado e não uma metade completa (um hemisfério). Em particular, se Vénus estiver entre a Terra e o Sol, vemos apenas uma

pequeníssima parte iluminada e o planeta parece ter aumentado de tamanho.

Unidades de Medida em Astronomia

Em ciência é usual procurar um sistema de unidades de medida comum, universal. Como é referido pela União Astronómica Internacional ([IAU](#)), sem um sistema comum de unidades de medida, os cientistas não poderiam partilhar resultados e as consequências podiam ser desastrosas e trazer custos enormes.

Tabela 2

Distância média dos planetas do sistema solar ao Sol.

Planeta	Distância média ao Sol (au)
Mercúrio	0,4
Vénus	0,7
Terra	1,0
Marte	1,5
Júpiter	5,2
Saturno	9,5
Úrano	19,2
Neptuno	30,0

A Unidade Astronómica (au) é a unidade mais usada para medir distâncias dentro do sistema solar. Ela é definida como a distância média da Terra ao Sol.

Como veremos adiante, a Terra, no seu movimento de translação descreve uma elipse em torno do Sol. Este facto implica que a distância da Terra ao Sol não seja sempre a mesma, o que aconteceria se a órbita fosse uma circunferência. No seu afélio, ou seja, quando a Terra está mais longe do Sol, a distância é de 152 098 233 km, enquanto no periélio, ou seja, quando a Terra está mais perto do Sol, a distância é de 147 098 291 km.

A diferença entre a distância no periélio e no afélio é, assim, de cerca de 5 milhões de km. Perceber que esta diferença, parecendo enorme, significa apenas uma variação de 3% da distância da Terra ao Sol entre a altura em que está mais próxima, no periélio, e a altura em que está mais afastada, no afélio, dá uma ideia de que estamos a falar de distâncias enormes em relação às quais não temos uma perceção imediata e fácil.

As unidades de medida utilizadas são então a unidade astronómica, que se

representa por au - unidade útil para medir distâncias da ordem de grandeza do sistema solar (Tabela 2), o parsec, que se representa por pc, útil para medir distâncias ao nível da galáxia ou conjuntos de galáxias (aglomerados e galáxias).

Também se usa o ano-luz. Esta unidade é maior que a unidade astronómica mas menor que o parsec e é mais usada em livros de divulgação de ciência. A distância entre estrelas numa galáxia por exemplo pode ser medida em anos-luz com toda a conveniência⁴⁴.

Tabela 3

Nome, símbolo e definição ou valor das unidades de medida em astronomia.

Designação	Símbolo	Definição e/ou valor
Unidade Astronómica	au	Distância média da Terra ao Sol.
Parsec	pc	206 000 au
Ano-luz	al	0,3 pc (aproximadamente)

Planetas, Planetas Anões e Cintura de Asteroides

Em torno do Sol - a estrela do sistema solar em que habitamos, ou seja o único corpo celeste do sistema solar com luz própria - têm movimentos de translação Mercúrio, Vénus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Úrano e Neptuno. São os planetas do nosso sistema solar. Outros corpos também têm movimento de translação em torno do Sol, mas não são planetas. Podem ser, por exemplo, cometas ou asteroides.

Os corpos celestes têm também outros dois movimentos para além do movimento de translação. O de rotação em torno de um eixo imaginário e o de precessão⁴⁵ desse eixo. Estes três movimentos realizam-se em simultâneo, mas em escalas de tempo completamente diferentes.

Vamos ver o exemplo da Terra. O tempo que a Terra demora, no seu movimento de translação, a completar uma volta ao Sol é de 1 ano. Mas o tempo que a Terra demora a realizar um movimento de rotação é de 1 dia. Por sua vez o tempo que o eixo da Terra demora no seu movimento de precessão é de 26 000 anos. Ainda que mais à frente voltemos a falar dos movimentos dos planetas, é importante reter que o

⁴⁴ [Nesta representação](#) das 25 estrelas mais próximas do Sol, considera-se um limite de 13,1 ano-luz.

⁴⁵ Já viram um pião a rodar? Quando está inclinado e em rotação sobre o seu eixo, não cai para a superfície, antes continua em rotação. Em simultâneo o seu eixo também vai rodando, realizando circunferências imaginárias. É esse movimento do eixo de rotação da Terra que chamamos precessão.

movimento global dos planetas é a combinação dos três movimentos referidos. Por as escalas temporais de realização desses movimentos serem tão díspares, podemos tratar separadamente cada movimento.

Planetas e planetas anões

Planetas, por definição, são corpos celestes que a) orbitam o Sol, b) têm massa suficiente para adquirirem equilíbrio hidrostático (adotarem uma forma aproximadamente esférica) e c) limpam a sua órbita.

Nos últimos anos foram descobertos vários corpos celestes da dimensão de Plutão. Descoberto em 1930, Plutão é um mundo gelado a grande distância do Sol e com uma massa 30 vezes menor que a do já pequeno planeta Mercúrio. Mas durante muito tempo foi considerado o último planeta do sistema solar.

Em 1978 foi descoberta Caronte, um dos 3 satélites naturais de Plutão; em 2005 foi a vez de *Nix* e *Hydra*, os mais pequenos satélites de Plutão. Mas a estória continuaria: em 2011 o telescópio espacial Hubble descobre mais um [satélite de Plutão](#), nomeado provisoriamente como *P4*. De facto mais de 1000 objetos foram descobertos para lá da órbita de Neptuno, a primeira fronteira do sistema solar, tomando esses objetos o nome de Objetos Trans-Neptunianos (OTN) ou TNOs no acrónimo em língua inglesa. Por vezes são também conhecidos por plutoides, reconhecendo assim a União Astronómica Internacional a posição especial que Plutão desempenhou nesta série de descobertas, bem como na construção teórica do Sistema Solar.

Por outro lado, mesmo dentro da órbita de Neptuno, nomeadamente na zona da cintura de asteroides, orbita Ceres, um dos primeiros planetas anões a serem conhecidos.

Assim para além dos planetas, a IAU definiu outra classe de objetos no sistema solar, os planetas anões. Estes não satisfazem o terceiro critério na definição de planeta, ou seja, não têm capacidade para limpar a sua órbita, existindo assim objetos semelhantes a eles mesmos muito próximos. Estão catalogados 5 planetas anões: Ceres, Plutão, Haumea, Makemake e Eris. Apenas Ceres tem uma órbita mais perto do Sol do que Neptuno - orbita na cintura de asteroides. Os outros 4 planetas anões são OTN.

Caraterização dos planetas

Os planetas interiores (Figura 35) são pequenos (relativamente aos jovianos), rochosos,

densos e têm poucas luas. Estão próximos do Sol e relativamente próximos entre si. São conhecidos por planetas telúricos ou tipo terra.

Os planetas exteriores (Figura 36) são gigantes, pouco densos, gasosos e têm muitas luas. São conhecidos por planetas Jovianos ou tipo Júpiter.



Figura 35. Comparação do tamanho relativo dos planetas terrestres, ou tipo Terra. Da esquerda para a direita, Mercúrio, Vênus, Terra e Marte. Fonte: ESA.

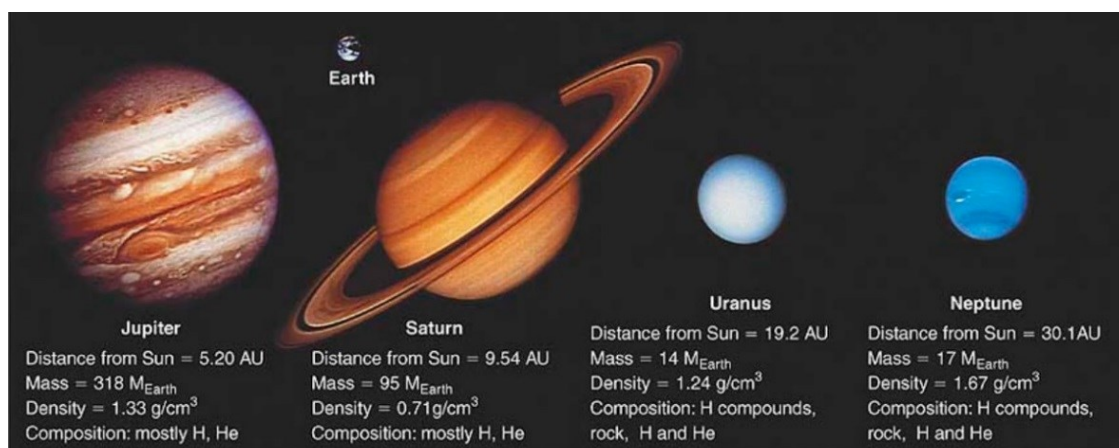


Figura 36. Comparação do tamanho relativo dos planetas jovianos. Fonte: University of Colorado Boulder, [LASP](#))

Cintura de asteroides, meteoros e meteoritos

Entre a órbita de Marte e de Júpiter, que estão separadas por quase 4 unidades astronômicas, está uma estrutura de grande importância para o sistema solar, a cintura de asteroides.

Por definição, asteroides são pequenos corpos celestes, em geral com forma irregular e que na sua grande maioria orbitam o Sol na cintura de asteroides, entre as órbitas de Marte e Júpiter.

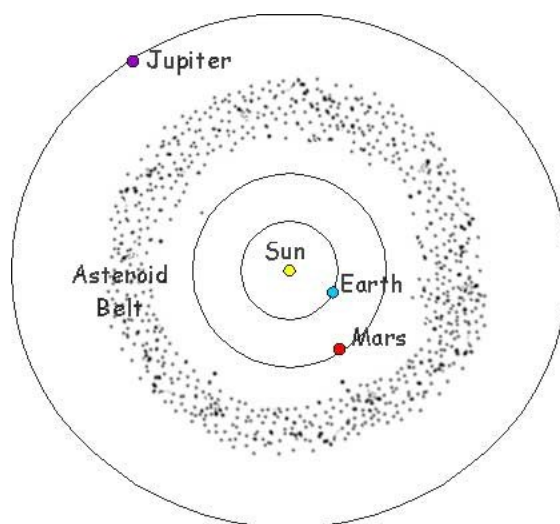


Figura 37. Representação esquemática da Cintura de Asteroides. Fonte: [NASA](#)

Devido a perturbações gravíticas, ou seja, alteração da força gravítica devido, por exemplo à aproximação de um ou mais corpos de maior dimensão, um asteroide pode sair da sua órbita e aproximar-se da Terra. São os *Near Earth Asteroid* (NEA). Estes, atraídos pela força gravítica da Terra podem mesmo chocar contra esta, provocando um impacto mais ou menos grave⁴⁶.

Para além dos asteroides existem também os meteoros, que têm um tamanho muito mais pequeno que um asteroide: desde o muito pequeno até cerca de 10 metros. Se um meteoro, cometa ou asteroide, consegue ultrapassar a atmosfera da Terra e atingir o solo sem ser destruído, chama-se um meteorito.

Um outro fenómeno ligado aos meteoros são as “estrelas cadentes.” Estas surgem quando meteoros em grande quantidade entram na atmosfera e aquecem muito devido ao atrito irradiando energia, em particular sob a forma de luz.

Movimentos de rotação e translação

⁴⁶ Há pouco tempo, [em 15 de Abril de 2013 um asteroide](#) entrou na atmosfera e atingiu a cidade de Chelyabinsk na Rússia. O tamanho estimado antes do impacto era de 17 a 20 metros com uma massa de 11 000 toneladas. O que aconteceu a este asteroide foi que ao entrar na atmosfera explodiu, partindo-se em partes mais pequenas. Estas espalham-se por uma região maior, provocando ainda mais estragos. Este asteroide entrou na atmosfera vindo da direcção do Sol, o que causou a sua deteção atempada praticamente impossível.

Vamos agora restringir-nos ao sistema formado pelo Sol, a Terra e a Lua. Como é natural os movimentos e posições relativas destes corpos têm influência direta na vida da Terra. Como todas as estrelas, o Sol é um corpo com luz própria. Assim o Sol fornece grande parte da energia que mantém a Terra como um planeta habitável.

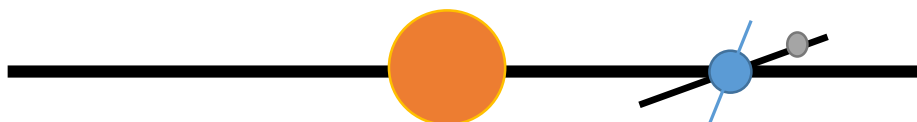


Figura 38. Plano da eclíptica (perpendicular ao plano do esquema): plano definido pelo movimento de translação da Terra (círculo azul) em torno do Sol (círculo laranja). Note-se a inclinação do eixo de rotação da Terra no valor de $23,5^\circ$ relativamente à perpendicular à eclíptica

Ao dia sucede a noite devido ao movimento de rotação da Terra em torno do seu eixo. Este movimento define o dia. O movimento de translação da Terra, por sua vez, define o ano. Ou seja, a Terra, partindo de um determinado ponto da sua órbita, volta ao mesmo sítio na sua órbita passado 1 ano⁴⁷. Este movimento da Terra define o plano da eclíptica (Figura 38).

Em torno da Terra a Lua tem um movimento de translação que dura cerca de 29 dias e que iguala o tempo do seu movimento de rotação. Assim, vemos sempre a mesma face da Lua⁴⁸.

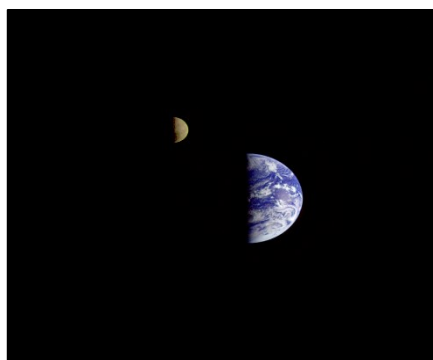


Figura 39. A 16 de Dezembro de 1992 a sonda Galileu olhou para trás de uma distância de 6,2 milhões de km e enviou-nos esta bela imagem da Lua e da Terra. Fonte: [JPL/NASA](#)

⁴⁷ É necessário ter presente que há algumas complicações que não vamos ter em conta nesta abordagem à astronomia. Por exemplo, para o calendário [ver aqui para mais informações](#).

⁴⁸ [Aqui](#) ou em vários livros de astronomia (M. Ferreira & Almeida, 2004; Moché, 2000) encontram uma abordagem simples aos movimentos da Lua, da Terra e suas posições relativas. Nomeadamente uma boa abordagem às fases da Lua e aos Eclipses.



Figura 40. Imagem da Lua em 14 de fevereiro de 2014. Imagem obtida com um telescópio controlado via web situado no Arizona, EUA.. Fonte: Autor.

Origem dos movimentos de rotação e translação

Tanto o movimento de translação como o de rotação são realizados no sentido anti-horário. O facto de isto acontecer com a Terra, a Lua, e com a maioria dos planetas no sistema solar relaciona-se com a sua formação. Uma gigantesca nuvem de gás (essencialmente hidrogénio e hélio) e poeiras, por ação da força gravitacional, rodou no sentido anti horário e foi agregando, juntando, os seus constituintes (por acreção), formando no centro uma massa que veio a dar origem ao Sol. Em torno dele, massas muito menores de matéria que viriam a ser os planetas continuaram o seu processo de agregação. Como toda a nuvem de gás rodava no mesmo sentido, os planetas continuam a fazê-lo (Figura 41).

Esta explicação para a formação do sistema solar foi desenvolvida no século XVIII, por vários filósofos, físicos e matemáticos, entre eles o grande filósofo prussiano Immanuel Kant (1724- 1804) e o matemático e físico francês Pierre-Simon Laplace (1749 – 1827). As gerações seguintes de cientistas trabalharam esta explicação e hoje, é aceite pela comunidade científica os princípios essenciais desta explicação. Hoje são observados pelos astrónomos enormes nuvens de gás e poeiras em diversos estados de evolução, reforçando a explicação ou hipótese de Laplace para a formação do nosso sistema solar.

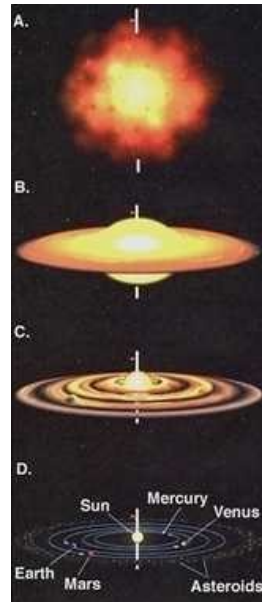


Figura 41. Representação esquemática da formação do Sistema Solar. Fonte: University of Illinois at Chicago – UIC.

Fases da Lua e eclipses

A Lua tem um movimento de translação em torno da Terra num plano ligeiramente inclinado relativamente ao plano da eclíptica. Esse movimento é realizado a 3670 km/h. No entanto, olhando para a Lua, numa noite, parece que está parada. Este facto volta a recordar-nos as enormes distâncias que estão envolvidas em Astronomia, mesmo se consideramos o corpo celeste mais próximo da Terra.

As fases da Lua acontecem devido ao facto de por vezes a Lua estar mais perto do Sol que a Terra e de outras vezes estar mais afastada. Como a Lua tem um movimento de translação em torno da Terra que demora, de uma Lua Nova a outra Lua Nova um pouco mais de 29 dias, o intervalo entre duas fases da Lua iguais define um mês.

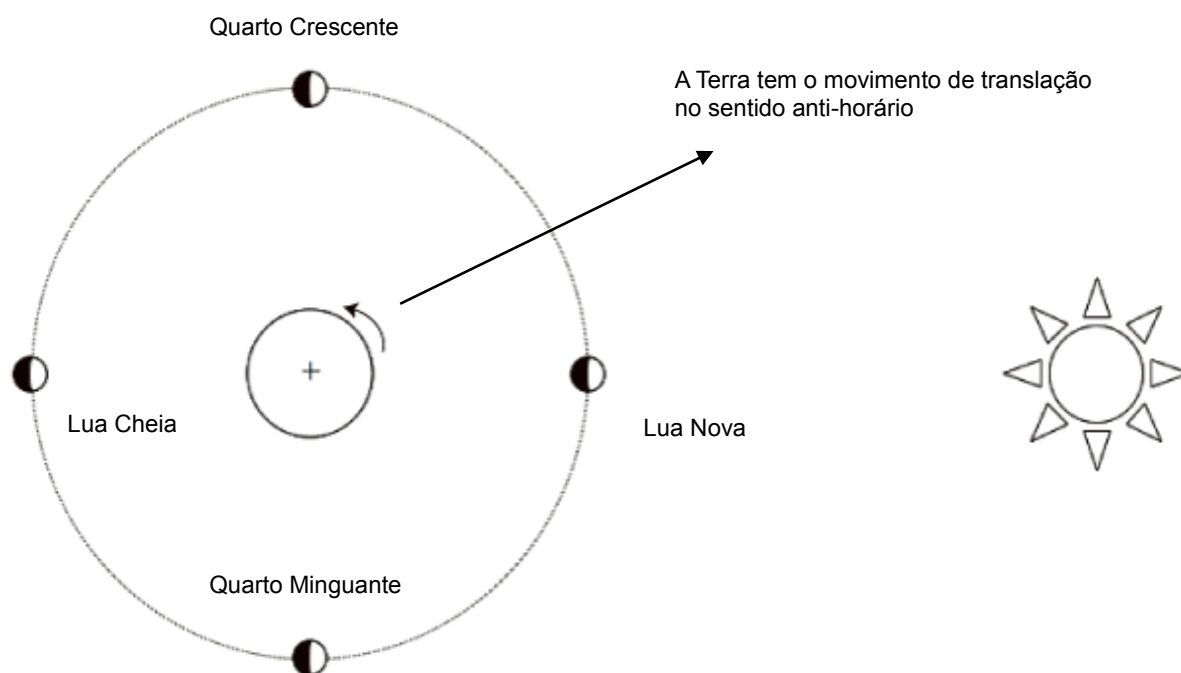


Figura 42. [Fases da Lua](#) e eclipses. Fonte: Department of Astronomy, University of Michigan e United States Naval Observatory - USNO.

A Lua Nova acontece quando a Lua está entre o Sol e a Terra. Nesta altura, se a Lua estiver no plano da eclíptica haverá um eclipse solar. A Lua está na Fase da lua Cheia quando está do lado oposto do Sol. Se neste caso também estiver no plano da eclíptica teremos um eclipse lunar. Entre a Lua Nova e a Lua Cheia temos o Quarto Crescente - a Lua, Terra e Sol estão em quadratura, formam um ângulo reto, e entre a Lua cheia e a Lua Nova temos o Quarto Minguante.

Recordar sempre que a órbita da Lua é realizada num plano diferente da órbita da Terra. Assim, quando a Lua está entre a Terra e o Sol, não acontece normalmente um eclipse solar. E quando a Lua tem a Terra e o Sol alinhados à sua frente também não se dá um eclipse lunar. Estes só acontecem quando há um alinhamento e quando a Lua está no plano da eclíptica.

Fases da Lua e Marés

As marés são causadas pela força gravítica da Lua. Apesar de o Sol ser um

corpo com uma massa muitíssimo superior à da Lua, está também muito mais afastado da Terra do que Lua

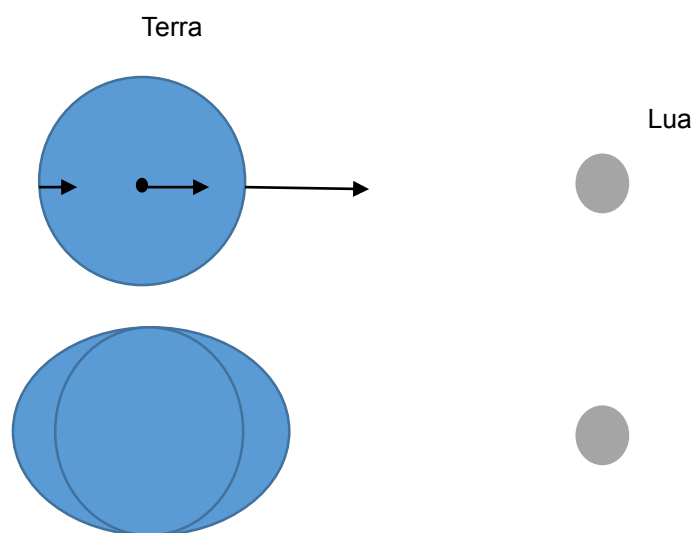


Figura 43. Esquema explicativo da formação das marés.

Como a força gravítica diminui muito com o aumento da distância, é a Lua que desempenha o papel determinante na formação de marés. Consideremos a Figura 43. A Terra exerce uma força gravítica sobre a Lua e esta exerce uma força gravítica sobre a Terra de direção e intensidade igual mas sentido oposto (terceira Lei de Newton). A zona da Terra mais próxima da Lua em determinada altura do dia, é atraída com força maior para a Lua do que o centro da Terra. E este, por sua vez, é atraído com mais força para a Lua do que o lado mais afastado da Terra. Globalmente, o comportamento resultante é o de existência e uma deformação da crosta da Terra e da superfície líquida (oceanos). Esta deformação é muito mais evidente na superfície líquida da Terra, mas tem também existência bem real na superfície sólida da Terra. A esta deformação chama-se maré cheia e esta dá-se então tanto do lado da Terra virado para a Lua, como do lado oposto.

Recordemos agora que a Terra demora apenas 1 dia a realizar o seu movimento de rotação, enquanto a Lua demora 29 dias a realizar o seu. A diferença é tão grande que durante 1 dia podemos considerar a Lua no mesmo lugar. Então, como mostra a Figura 44, a maré cheia repete-se a cada 12h00, e o mesmo acontece para a maré vazia.

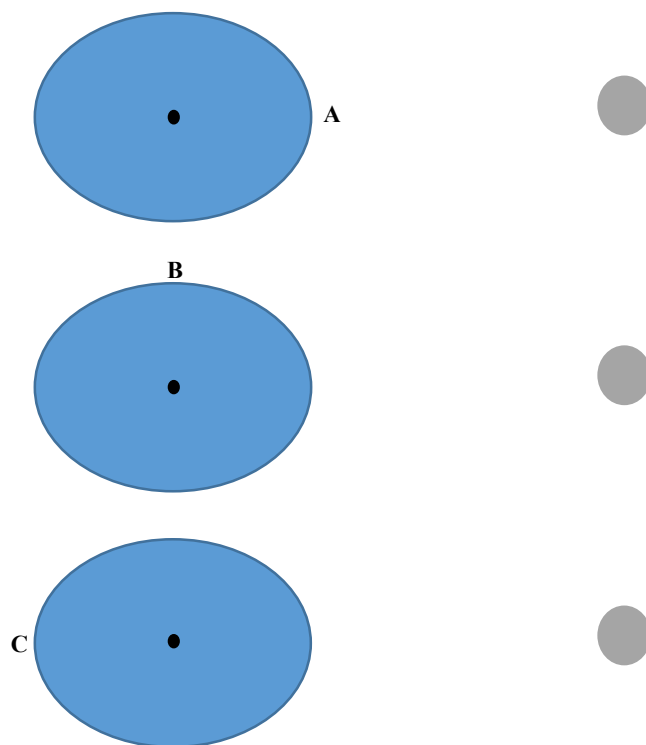


Figura 44. Devido ao movimento de rotação da Terra, uma pessoa que esteja no ponto A, zona de maré cheia, passadas 6 horas está no ponto B, zona de maré vazia. 12 horas depois de estar no ponto A, a pessoa estará no ponto C, novamente maré cheia. Assim, cada 12h00 temos uma maré cheia.

E se o Sol estiver na mesma direção da Lua? Então as forças gravíticas dos dois corpos sobre a Terra adicionam-se e temos as marés vivas. Estas representam uma deformação maior da superfície da Terra, devido à maior diferença de forças gravíticas entre o lado que está voltado para a Lua e Sol e o lado oposto.

Órbita de um Corpo em Torno de Outro sob a Influência da Força Gravítica

Os corpos celestes, nomeadamente os planetas descrevem elipses no seu movimento orbital. Elipses são curvas matemáticas que se podem obter cortando um cone de modo transversal e obliquamente (Figura 45). A elipse está entre as conhecidas curvas cónicas, círculo, parábola e hipérbole, todas de grande importância tanto na matemática como na física. Assim o planeta Terra tem um movimento de translação em torno do Sol durante o qual descreve uma elipse, ocupando o Sol um dos focos.

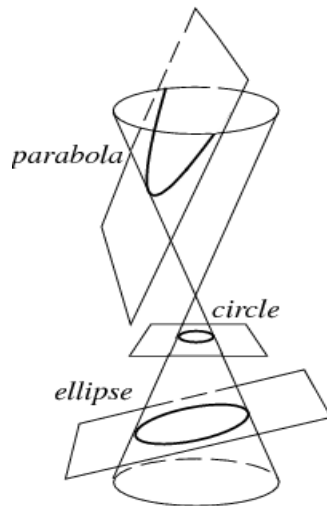


Figura 45. Uma elipse é obtida cortando um cone de forma transversal e obliqua. Na figura representam-se duas outras curvas cónicas: parábola e circunferência. Uma parábola é a curva realizada por um projétil lançado na Terra. Fonte: Weisstein, Eric W. "Conic Section")

matemática como na física. Assim o planeta Terra tem um movimento de translação em torno do Sol durante o qual descreve uma elipse, ocupando o Sol um dos focos (Figura 46).

Todos os planetas descrevem elipses em torno do Sol; todas as Luas descrevem elipses em torno dos respetivos planetas. Os cometas também descrevem elipses em torno do Sol. Mas as órbitas dos cometas são elipses muito excêntricas⁴⁹, comparadas com as órbitas dos planetas. Em 2014 a Terra esteve no Periélio a 4 de janeiro às 12h00 e no Afélio a 4 de julho à 01h00. Ou seja, a Terra esteve mais próxima do Sol e era Inverno no hemisfério Norte e estará mais longe do Sol e será Verão no hemisfério norte. Não é a proximidade ao Sol que determina as estações do ano, como veremos a seguir.

⁴⁹ As elipses podem ser desenhadas facilmente (ver [aqui](#)). Uma elipse mais ou menos excêntrica têm os focos mais ou menos afastados. As órbitas dos cometas têm os focos muito separados.

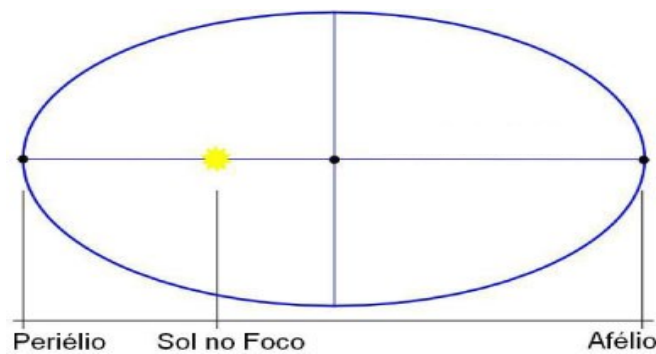


Figura 46. Os planetas descrevem elipses no seu movimento de translação em torno do Sol. O Sol ocupa um dos focos da órbita. Fonte Vechi et al., (2013)

Cometas

Os cometas são corpos com alguns, poucos, quilómetros de diâmetro, constituídos por rocha e gelo e que orbitam o Sol em elipses muito excêntricas (acentuadas). De cada vez que na sua órbita passam perto do Sol, libertam matéria, formando uma cauda, no sentido contrário ao do Sol, e uma cabeleira, no sentido do Sol. Logo, se de cada vez que passam perto do Sol libertam matéria, as sucessivas passagens vão fazendo o cometa desaparecer algum dia.

De facto é isto que acontece. Os cometas, corpos gelados e rochosos que vieram de zonas muito afastadas do Sol por ação de alguma perturbação gravítica, ao realizarem sucessivas passagens pelo sol, acabam por libertar para o espaço toda a matéria.



Figura 47. Cometa 17P/Holmes. Notem a cabeleira à frente do cometa, e a cauda. Fonte: NASA

Estações do Ano

No hemisfério Norte (ou no Hemisfério Sul), a latitudes um pouco acima do equador e abaixo do círculo polar ártico existem quatro estações do ano. O que provoca as estações do ano é o movimento de translação da Terra em torno do Sol e a inclinação do eixo de rotação da Terra relativamente ao plano da eclíptica. Estes dois fatores vão fazer com que a superfície da Terra tenha uma intensidade luminosa com uma variação anual.

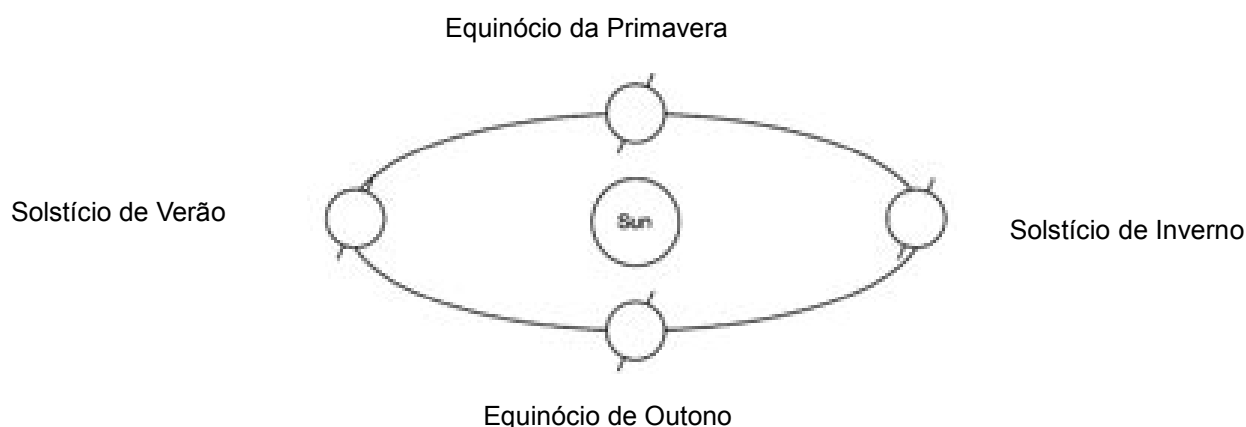


Figura 48. Esquema representando o movimento de translação da Terra. Outro esquema em tudo semelhante pode ser encontrado aqui. Fonte: Lee (2010)

Vejamos a Figura 48. A Terra tem um movimento de rotação em torno do seu eixo. Esse eixo tem uma inclinação de cerca de $23,5^\circ$ relativamente à perpendicular à eclíptica. Esta inclinação é à escala da vida humana constante. Se imaginarmos um prolongamento desse eixo, iríamos encontrar a estrela Polar.

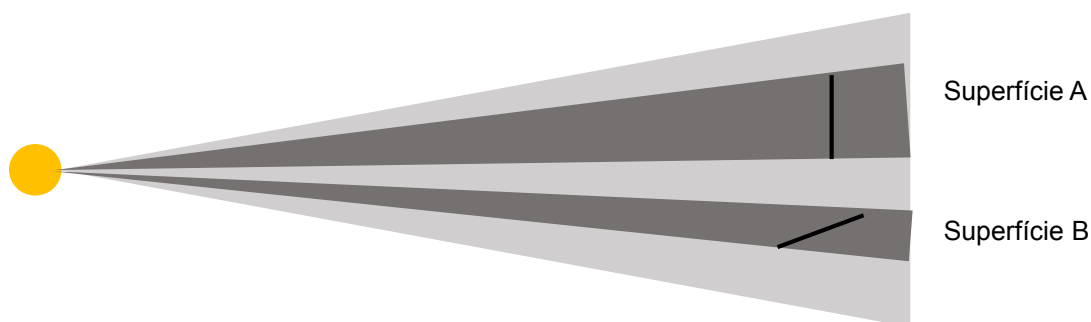


Figura 49. Esquema que representa o efeito da inclinação da luz incidente sobre uma superfície.

Tabela 4

Início das Estações do Ano e acontecimentos astronômicos associados. Abreviaturas usadas: Hemisfério Norte (HN), e Hemisfério Sul (HS). Fonte: OAL

Acontecimento	Estação do ano que inicia	Caraterísticas	Data do acontecimento em 2014
Equinócio da Primavera	Início da Primavera	HN e HS recebem a mesma quantidade de Luz. Os dias são cada vez mais compridos no HN	20 de março
Solstício de Verão	Início do Verão	HN recebe muita luz em comparação com o HS. Os dias são compridos.	21 de junho
Equinócio de Outono	Início do Outono	HN e HS recebem a mesma quantidade de Luz. Os dias são cada vez mais curtos no HN	23 de setembro
Solstício de Inverno	Início o Inverno	HN recebe pouca luz em comparação com o HS. Os dias são curtos. O Sol está muito baixo no horizonte.	21 de dezembro

Assim não é a maior ou menor proximidade do Sol que provoca as estações do ano, mas sim a diferente inclinação da luz do Sol relativamente à superfície da Terra causada pelo movimento de translação da Terra e pela inclinação do eixo de rotação relativamente ao plano da eclíptica.

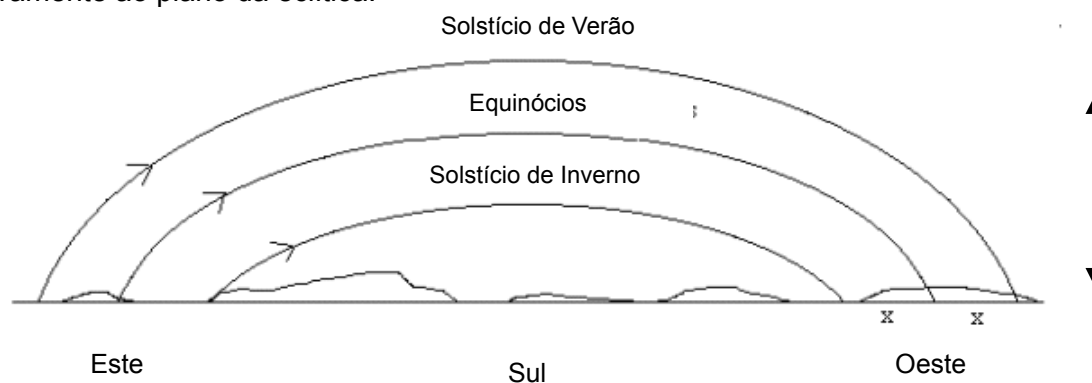


Figura 50. Movimento aparente diurno, de Este para Oeste e movimento aparente anual, para cima e para baixo do Sol. Fonte: Adaptado de European Association for Astronomy Education, EAAE.

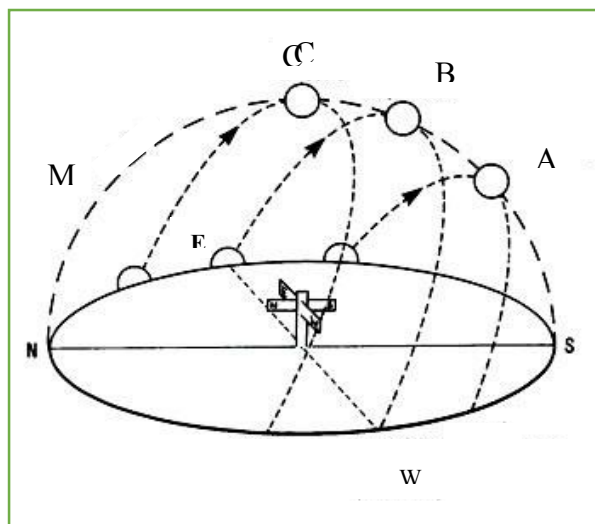


Figura 51. Outra representação do movimento diário e anual aparente do Sol. (Fonte: adaptado de Nuffield Foundation)

À medida que o Verão se aproxima, todos temos a experiência de os dias serem cada vez mais longos e as noites mais curtas. Isso pode ser verificado Figura 50 e Figura 51. O Sol, à medida que vai do solstício de Dezembro para o de Março, permanece mais tempo acima do horizonte: os dias são mais compridos. Em simultâneo fica cada vez mais alto, o que faz a luz incidir mais perpendicularmente à superfície, espalhando-se por menos área.

Constelações, orientação diurna e orientação pelos astros

As constelações do Zodíaco são 12 constelações que estão no plano da eclíptica, ou seja, que o Sol no seu movimento aparente anual parece percorrer. Histórica e culturalmente estas tiveram uma importância significativa. Mas a IAU definiu em 1922, [88 constelações](#) mapeando assim a abóbada celeste. Esta, uma construção conceptual onde podemos supor que projetamos todas as estrelas é assim cartografada em zonas com fronteiras bem definidas, as fronteiras das 88 constelações.

Podemos ver a constelação da [Ursa Menor](#), com a estrela Polar na cauda e a constelação da [Ursa Maior](#), que não são constelações do Zodíaco. Para serem constelações do Zodíaco a linha da eclíptica tem de a atravessar ou passar por ela, como por exemplo a constelação da [Virgem](#), ou do [Touro](#). Ou seja, se conseguíssemos observar as constelações que o Sol parece percorrer no seu movimento diário ou anual,

veríamos que ele passaria pelas constelações do zodíaco.

Assim as constelações são zonas da abóbada celeste em que passa ou são atravessadas pela linha da eclíptica; ou seja, onde o Sol parece passar.

Existe, uma classe de estrelas que se chamam estrelas variáveis. Estas, como o nome indica não mantêm a sua luminosidade constante mas variam de várias formas (em geral de modo periódico ou irregular). Ora para identificar, localizar e nomear estas estrelas utilizam-se as constelações; também para identificar de onde vem um meteoro (ou seja, para um habitante da Terra, um objeto que venha do “céu”, pode vir de várias zonas) ou onde está em certa altura um cometa. Então utilizam-se as constelações para dizer que o meteoro X vem em direção à Terra da constelação Y). Por exemplo, o asteroide de Chelyabinsk que colidiu com a superfície da Terra a 15 de fevereiro de 2013 veio da constelação de [Pegasus](#), numa altura em que o Sol também estava a nascer: note-se como a eclíptica passa perto dessa constelação. Era impossível esse corpo ter sido visto com antecedência devido a esse facto.

Sabemos que na cauda da Ursa Menor está a estrela Polar. E o eixo de rotação da Terra aponta para essa estrela (que naturalmente só é vista no hemisfério norte). Assim o Norte geográfico é determinado pela direção em que está essa estrela. Determinado o Norte, fica automaticamente determinado o Sul, que está no sentido oposto. O Ponto cardeal Este fica do lado direito e o Oeste do lado esquerdo.

Mas para conseguir isto é necessário identificar a estrela Polar. Sabemos que esta está na cauda da Ursa Menor. Mas esta é uma constelação pouco visível. É a Ursa Maior que se vê bem. Assim procura-se a Ursa Maior e identifica-se as suas guardas, Dubhe e Merak. Realizando um prolongamento da distância entre as guardas de 4 ou 5 vezes, encontra-se a Polar. (A literatura é ambígua no número de vezes que se tem de fazer este prolongamento.) Uma descrição talvez mais simples pode-se encontrar [aqui](#).

Orientação diurna

De dia tanto o Sol como uma bússola nos podem ajudar na orientação. À nossa latitude no hemisfério norte (Lisboa está a cerca de 39° N) sabemos que a luz do Sol incide sempre com alguma inclinação, pois nós estamos a norte do Trópico de Câncer⁵⁰. Assim o Sol está sempre um pouco a Sul, pelo que a nossa sombra vai estar virada para Norte. Como o Sol tem altura máxima a meio do dia (define aliás o meio-dia solar), será

⁵⁰ O trópico de Câncer, linha imaginária que está a cerca de 23,5° N, é definido como a latitude mais a norte em que a luz do Sol incide perpendicularmente no Zénite, ou seja, na vertical do lugar. Se uma pessoa estiver no trópico de Câncer na altura do Solstício de Verão, ao meio dia solar não provocará sombra.

na altura em que o comprimento da sombra é menor que podemos encontrar o ponto cardeal Norte.

Usando a bússola, é importante ter alguma ideia de onde fica o Norte ou o Sul⁵¹. Isso pode ser conseguido vendo de que lado vem a luz do Sol. Como este está inclinado a Sul para a latitude acima dos 23,5°, o Norte fica para o lado contrário. A direção do ponteiro indica-nos, nesse lado, a posição do Norte magnético. A agulha da bússola é alinhada segundo o campo magnético da Terra. Este alinhamento faz-se segundo a direção Norte-Sul magnético, que é quase igual (há uma diferença chamada de declinação magnética do lugar) ao Norte-Sul geográfico em Lisboa e Portugal continental.

Galáxias, aglomerados e organização do Universo

Todas as estrelas estão em movimento umas em relação às outras. Elas parecem estar fixas pois estão a uma distância enorme. Olhem para um carro na rua; olhem depois para um avião a uma distância considerável. Qual vai mais depressa? Façam agora uma extrapolação para distâncias incomensuravelmente maiores: à escala humana as estrelas aparentam estar fixas. Em milénios, e por registos de povos antigos, deteta-se o movimento das estrelas.

Mas para além de estarem em movimento, elas não estão espalhadas ao acaso, mas estão organizadas em galáxias. A Via Láctea, a nossa galáxia, é uma espiral barrada. Existem também galáxias espirais, elíticas e esféricas. Por sua vez as Galáxias não são as estruturas maiores do Universo. Elas estão organizadas em aglomerados e super-aglomerados

⁵¹ Muitas bússolas têm pontas pintadas de vermelho, que muitas vezes associamos ao Norte. Mas pode não ser assim. A bússola pode ter a polaridade invertida etc.

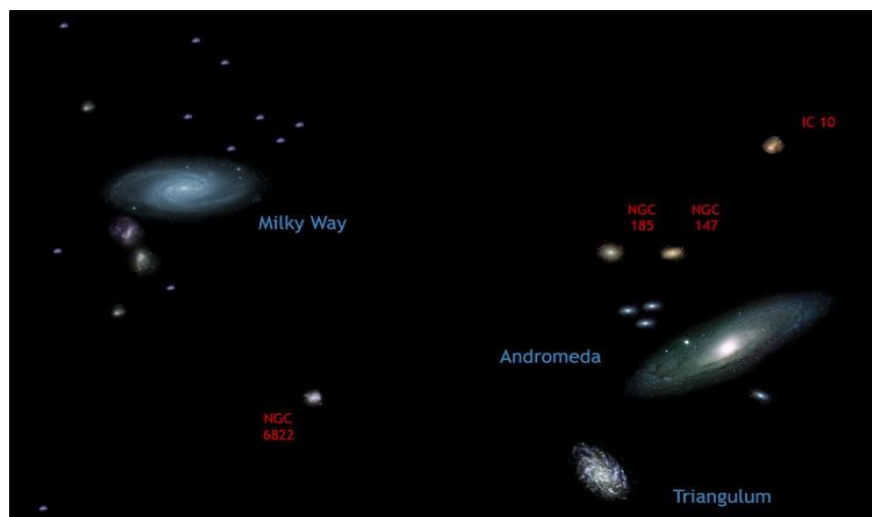


Figura 52. Imagem do grupo local. Representada a distribuição da Via Láctea (*Milky Way*) e da Andrômeda, as duas maiores galáxias do Grupo Local.

Planetas Fora do Sistema Solar

Até pouco tempo atrás não se conheciam planetas fora do Sistema Solar. Desde há uns anos entretanto que a procura de exoplanetas, planetas fora do Sistema Solar, que orbitam outras estrelas que não o Sol se tornou num programa científico envolvendo meios técnicos e humanos significativos. Recentemente a [NASA](#) revelou que a sonda Kepler⁵², lançada em março de 2009 para descobrir exoplanetas potencialmente habitáveis, descobriu 715 novos planetas, orbitando 305 estrelas diferentes. Atualmente conhecem-se cerca de 1800 exoplanetas. Este número deve-se tornar rapidamente ultrapassado pois o ritmo de descoberta é absolutamente notável.

⁵² O nome de Kepler dado à missão é uma homenagem a Johannes Kepler que temos encontrado ao longo deste curso. A página oficial da missão começa com uma citação muito bela de Kepler: “Os caminhos pelos quais os homens chagam ao conhecimento das coisas celestiais [do Universo] dificilmente é menos bela do que a própria natureza dessas coisas.” Kepler afirma assim que os processos de ciência e os conhecimentos têm importância e beleza equivalentes.

Apontamentos de Eletricidade e Magnetismo

Introdução

A sociedade usa o conhecimento da eletricidade e a capacidade de produzir corrente elétrica para manter em funcionamento um incontável número de atividades e funções: aparelhos de comunicação e localização como os telemóveis ou o GPS, instrumentos médicos ou industriais, sistemas de aquecimento ou refrigeração ou simples iluminação são alguns dos exemplos.

Mas a capacidade de produzir uma corrente elétrica de forma duradoura apenas foi conseguida cerca de 1800 por Alessandro Volta (1745 - 1627) que criou a pilha que cedo adquiriu o seu nome, a pilha de Volta (Figura 53).



Figura 53. Pilha de Volta. Disponível no espólio de instrumentos científicos e didáticos da ESELx. Fonte: Autor.

Ainda assim entre a descoberta do princípio de funcionamento de uma pilha por Volta e o seu uso industrial decorreu algum tempo. Ainda no século XIX o telégrafo terá estado entre as primeiras aplicações da corrente elétrica. Entre fins do século XIX e o início do século XX, vários inventores e cientistas trabalharam ativamente na área

eletricidade, como ficou conhecido o campo do conhecimento que estuda cargas elétricas em movimento, ou, para utilizar a expressão que temos vindo a usar, correntes elétricas.

Thomas Edison (1847 - 1931) patenteou a lâmpada elétrica em 1870, ainda que a primeira demonstração pública tivesse sido realizada nove anos depois na semana do natal em Menlo Park, New Jersey (Edison Memorial Tower Corporation [EMTC], 2014). As lâmpadas acompanharam-nos durante todo o século XX. Questões de ordem ambiental, energética e de saúde pública levam atualmente os governos a legislar sobre o uso destas lâmpadas⁵³. De facto cerca de 90% da potência⁵⁴ consumida por estas lâmpadas é gasta sob a forma de calor (energia radiante infravermelha) para a atmosfera, perdendo-se assim energia. Dito de outro modo, apenas 10 % da potência é usada para produção de luz visível que é o uso para que as lâmpadas são construídas em primeiro lugar. As lâmpadas de filamento estão a ser progressivamente substituídas por outras de halogénio (lâmpadas de filamento com um gás como bromo ou cloro ou ainda iodo, do grupo dos halogénios da Tabela Periódica - Grupo 17) ou por lâmpadas fluorescentes.

As lâmpadas fluorescentes usam o mesmo princípio de funcionamento que os tubos de descarga amplamente usados nos estudos de eletricidade no século XIX. A ESELx possui no seu espólio de instrumentos científicos e didáticos uma quantidade considerável de tubos de descarga, alguns dos quais estão dispostos no corredor de ciências. Entre estes destacamos os tubos de Crookes, desenvolvidos por Sir William Crookes (1832 - 1919) e os antecedentes destes, os tubos de Geissler, devidos ao vidreiro e físico alemão Johann Geissler (1814 - 1879).

Os estudos de eletricidade com o uso de tubos de descarga estavam tão disseminados na sociedade e eram tão populares que a *Vanity Fair* faz uma capa em 1903 com uma caricatura de Crookes (Figura 55).

⁵³ Ver e.g. o [REGULAMENTO \(CE\) Nº 244/2009 DA COMISSÃO](#) de 18 de março de 2009.

⁵⁴ Definição de potência elétrica, P: A potência elétrica produzida por uma corrente elétrica de intensidade I devida a uma diferença de potencial V é igual ao produto da intensidade de corrente elétrica pela diferença de potencial.

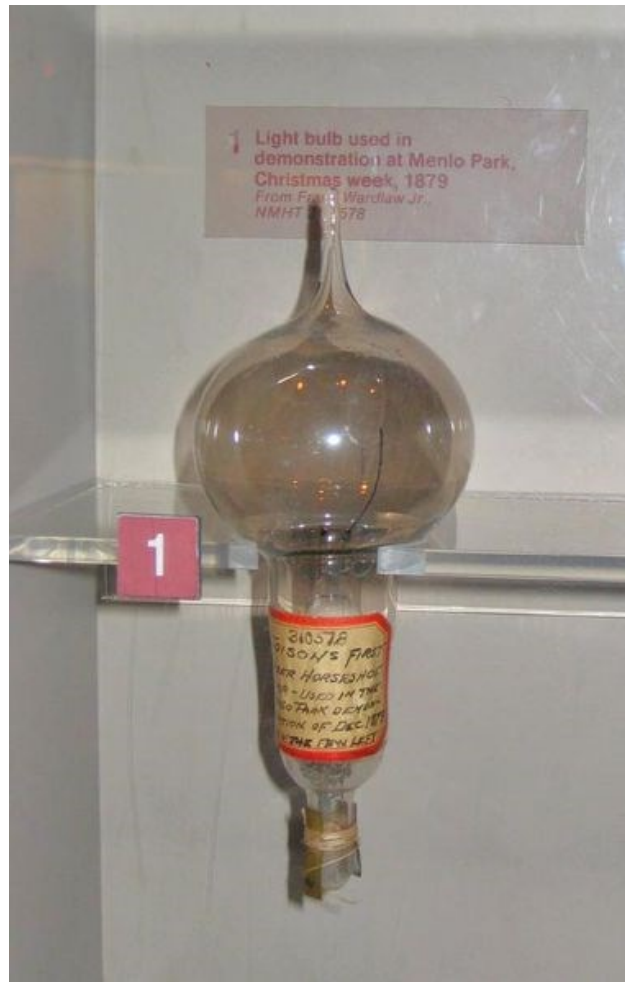


Figura 54. Lâmpada de filamento usada por Thomas Edison na sua primeira demonstração pública em Menlo Park. (Fonte: EMTC, 2014)



Figura 55. Caricatura de Sir William Crookes (1832 - 1919), com um tubo de descarga na mão, publicada na capa da Vanity Fair em 1903. Na legenda lia-se em latim o irônico: “ubi Crookes ibi lux”, o que significa “Onde existe Crookes, existe Luz”.

Eletrostática

Os fenómenos eletrostáticos que podem assumir a forma de descargas elétricas na atmosfera muito poderosas (relâmpago), ou simples deslocamento de corpos por ação de forças elétricas (cabelos após escovar) são conhecidos desde há muito. Como muitos dos fenómenos observados no dia-a-dia, os fenómenos eletrostáticos começaram a ser explicados como fenómenos naturais pelos filósofos da Antiguidade Grega.

Consideremos uma palhinha de plástico e umas tiras pequenas de papel. Em condições normais, se aproximarmos a palhinha de plástico do papel não acontece nada. Este facto é uma evidência de que tanto a palhinha como cada uma das tiras de papel são corpos neutros, isto é, na sua constituição, o número de cargas elétricas positivas, prótons, iguala o número de cargas elétricas negativas, eletrões.

Vamos agora friccionar a palhinha com um pano de lã. Ao friccionarmos estamos a forçar o contacto entre os átomos dos dois corpos. Como a lã e as palhinhas de plástico têm diferentes átomos⁵⁵, os eletrões de um dos materiais são mais suscetíveis de passar de um para outro; mais facilmente saem de um corpo para irem para outro⁵⁶. Assim eletrizamos a palhinha de plástico por fricção. Podemos ver isso mesmo aproximando a palhinha eletrizada de uns bocadinhos de papel. Alguns dos papéis vão de encontro à palhinha, ou seja, os papéis são atraídos pela palhinha. Dizemos que a palhinha está eletricamente carregada, eletrificada, ou, simplesmente, carregada. Ao fenómeno da atração chama-se de atração elétrica ou atração eletrostática.

Mas antes de eletrizarmos a palhinha aproximámo-la dos bocadinhos de papel e nenhum se moveu: os bocadinhos de papel eram, tal como a palhinha antes de ser eletrizada por fricção, corpos neutros. Quando aproximamos a palhinha previamente eletrizada por fricção estamos a induzir uma eletrização nos bocadinhos de papel: há uma eletrização por indução de cada um dos papelinhos.

⁵⁵ Os átomos diferem em muitas características. A menor ou maior facilidade de ceder eletrões, a sua, eletronegatividade é uma delas.

⁵⁶ A [série triboelétrica](#) dá-nos uma listagem de materiais por ordem decrescente de capacidade de perder eletrões. A espuma de poliuretano (poliuretano é um dos constituintes das rodas dos skates) quando friccionada com lã perde eletrões; a lã quando friccionada com uma palhinha de plástico ganha eletrões. Ou seja a palhinha de plástico fica carregada negativamente.

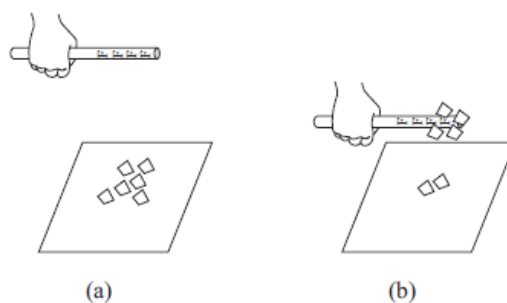


Figura 56. Uma palhinha de plástico foi eletrificada por fricção mas é mantida a uma distância considerável dos bocadinhos de papel (a). A palhinha eletrificada é aproximada das tiras de papel e estes, eletrificados por indução são atraídos para a palhinha (b). A letra F na palhinha designa a parte eletrificada por fricção. Adaptado de Assis (2010)

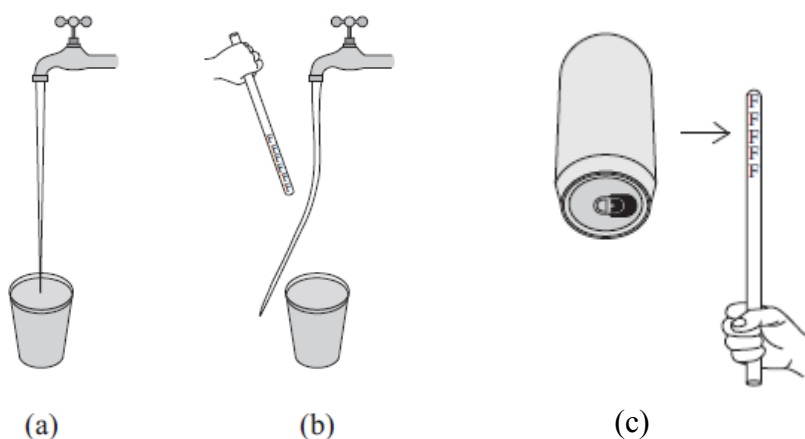


Figura 57. Não são apenas plásticos ou papeis que podem ser eletrizados. Em (a) temos uma torneira a deitar água. Se eletrizarmos por fricção uma vareta de plástico e a aproximarmos da água veremos que ela muda de direção (b). Também uma lata (metal) de uma bebida pode ver-se a rolar por uma superfície se aproximarmos um corpo eletrizado. Tanto a água como a garrafa são eletrizados por indução.

Desde o nascimento da ciência na Grécia antiga que a capacidade do âmbar (resina de árvore fossilizada) depois de friccionada de atrair corpos leves é conhecida. *Electron* é a palavra grega que designa âmbar; Platão (428 - 348 a.C.) no seu *Timeu*⁵⁷ menciona o fenómeno. A referência de Platão dá a clara ideia de que o fenómeno é amplamente conhecido dos seus contemporâneos. Mas se o fenómeno é conhecido, a sua explicação está por fazer: Estamos nos primeiros séculos de ciência. Platão defende que o vácuo não existe na natureza, assim, não há nenhuma atração entre o âmbar e corpos mais leves, mas um deslocamento dos corpos de modo a que não haja espaços

⁵⁷ Para uma abordagem rigorosa mas acessível sobre o *Timeu* de Platão ver [aqui](#). (Em inglês)

vazios na natureza.

As perguntas que se fazem sobre se um material é eletrizado ou neutro, se após ser eletrizado atrai ou repele outros corpos, etc., são perguntas modernas que resultam do trabalho e estudo de centenas de anos sobre fenómenos eletrostáticos. Em 1600 William Gilbert (1544 -1603), médico e filósofo natural inglês publica o *De Magnete*⁵⁸. A obra exerce uma grande influência em vários autores contemporâneos entre eles Johannes Kepler que nessa altura estuda as órbitas planetárias⁵⁹.

Nesta obra, que havemos de reencontrar quando analisarmos o magnetismo, Gilbert distingue pela primeira vez as forças magnéticas das forças elétricas. Um ímã natural atrai ferro e os seus compostos, mas não atrai um plástico friccionado. É perante esta situação e outras da mesma ordem que Gilbert separa os fenómenos magnéticos dos fenómenos elétricos. Eles passam a ser parte de áreas de estudo diferenciadas. No entanto a natureza prega partidas e já no fim do século XIX a ideia de que tanto o magnetismo como a eletricidade eram duas manifestações distintas de um mesmo fenómeno veio para ficar, dando origem ao eletromagnetismo. De facto, Hans Christian Oersted (1777 - 1851), físico e químico dinamarquês mostrou em 1820 esta ligação entre os dois campos do conhecimento: descobriu que uma carga elétrica em movimento provoca um campo magnético e que um campo magnético variável pode provocar uma corrente elétrica.

Entrando na natureza das forças elétricas

Outro passo significativo na compreensão da eletrostática ocorre com Honoré Fabri (1607 -1678) jesuíta francês e Robert Boyle⁶⁰ (1627 - 1691), filósofo natural inglês e membro da *Royal Society*. Fabri e Boyle estabelecem, ainda que trabalhando separadamente, que as forças eletrostáticas são mútuas e não apenas de um corpo para outro. Ou seja, se um corpo *A* exerce uma força eletrostática sobre outro corpo *B*, então o corpo *B* também exerce uma força eletrostática sobre o corpo *A*.

Conhecendo nós a terceira lei de Newton (1642 - 1727), que este publica em 1687 e onde afirma que as forças se exercem aos pares, em direções iguais, em

⁵⁸ Título completo da obra, publicada, como era costume em Latim: *De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure* (Sobre o Ímã e Corpos Magnéticos, e sobre esse Grande Ímã a Terra).

⁵⁹ Kepler usa a teoria desenvolvida no *De Magnete* e supõe que as forças que movem os planetas em torno do Sol, são forças magnéticas.

⁶⁰ Robert Boyle desempenha um importantíssimo papel no desenvolvimento da ciência experimental moderna. Trabalha em inúmeras áreas da física e da química; membro da *Royal Society* constrói as primeiras [bombas de vácuo](#) estabelecendo critérios de validação de realizações experimentais.

sentidos opostos e com igual magnitude, vemos nas investigações de Fabri e de Boyle passos importantes para que Newton pudesse realizar a sua síntese enunciando uma Lei a que obedeceriam todas as forças, inclusive a forças elétricas.

Com as atividades envolvendo palhinhas de plástico e bocadinhos de papel ou atividades práticas semelhantes apenas vemos atração entre corpos. Vamos agora ver como provocar uma repulsão entre corpos. Pegamos em duas palhinhas de plástico e unimo-las por um fio. Friccionamos as duas em simultâneo com um pano de lã. Seguramos no fio e elas afastam-se: observa-se a atuação de uma força repulsiva.

Charles du Fay (1638 - 1739), químico francês, foi o primeiro a reconhecer em 1733 e 1734 que a repulsão eletrostática era tão real como a atração eletrostática. Antes pensava-se que a repulsão era um fenómeno secundário, acessório e resultante de fatores não controlados.

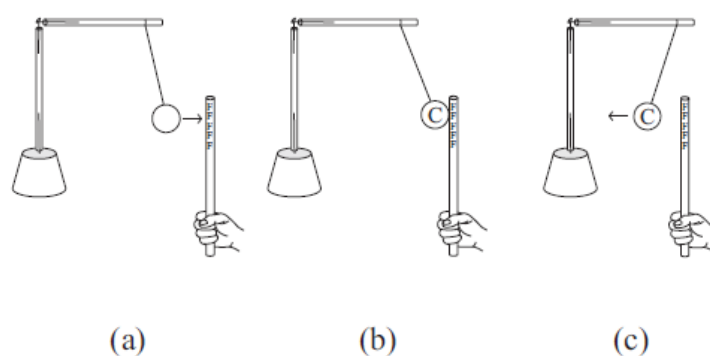


Figura 58. (a) Uma palhinha eletrizada por fricção é aproximada de uma bola de papel. Essa bola é atraída. (b) A bola contacta com a palhinha e, finalmente (c) a bola passa a ser repelida pela palhinha. O que aconteceu foi que no passo (b) em que os dois corpos estiveram em contacto, deu-se a eletrização por contacto.

No tempo de du Fay, seguindo tradição que já vinha desde Gilbert, um século antes, reconheciam-se corpos elétricos e não elétricos. Corpos elétricos eram aqueles que eram sensíveis à força eletrostática. Em 1733 du Fay após a realização de um vasto conjunto de experiências eletrostáticas mostra, numa descoberta surpreendente, que existem dois tipos de eletricidade. De facto o que du Fay descobriu foi, em termos modernos, corpos que são eletrizados e que ficam carregados positivamente e corpos que após eletrização ficam carregados negativamente. Juntamente com este facto, du Fay estabeleceu que corpos com carga elétrica de sinal igual repelem-se e corpos com carga elétrica de sinal diferente atraem-se.

Carga elétrica

O conceito de que carga elétrica elementar e discreta foi sendo desenvolvida no século XIX e foi por fim determinado o seu valor em 1909 pelos físicos norte americanos Robert Millikan e Harvey Fletcher. Em homenagem a Charles de Coulomb (1736 - 1806) físico francês que descobriu que a força eletrostática entre duas cargas elétricas diminui com o inverso do quadrado da distância, tal como a força gravítica, é dado o nome de Coulomb à unidade de carga elétrica⁶¹, que tem o símbolo C.

Corrente elétrica

Correntes elétricas, ou seja, deslocamento de cargas elétricas, em particular eletrões ou iões, num curtíssimo período de tempo e num espaço limitado foram as únicas correntes elétricas possíveis de obtenção antes da invenção da pilha elétrica em 1800 por Volta.

Depois da invenção da pilha, numerosos físicos e químicos bem como inventores desenvolveram outras pilhas capazes de criar maior diferença de potencial elétrico e de modo mais duradouro no tempo. O objetivo de uma pilha é criar uma [diferença de potencial elétrico \(d.d.p.\)](#) entre dois pontos do circuito e mantê-la por um tempo tão longo quanto possível (até “a pilha estar gasta”, como se diz usualmente).

A construção e reparação de circuitos elétricos foi uma indústria bastante disseminada no século XX. Era necessário que os fabricantes de equipamentos, os distribuidores e a reparação de máquinas elétricas, bem como novas invenções fossem comunicadas usando uma simbologia que todos entendessem. Daí que para cada elemento de um circuito e para cada instrumento de medida de uma grandeza elétrica fosse criado um símbolo universal.

Na realidade, se olharmos para vários esquemas vemos símbolos ligeiramente alterados, mas no essencial há uma uniformização sendo que [atualmente existem cerca de 1900 símbolos](#). De seguida apresentamos alguns diagramas de elementos de circuito com os respetivos nomes e dois instrumentos de medida (Tabela 5 Simbologia de elementos de circuitos elétricos(Tabela 5Tabela 6)).

Os circuitos elétricos com funcionalidades as mais diversas alteraram a sociedade do século XX. Se no início do século a conservação de alimentos era um problema social importantíssimo, impedindo comunidades inteiras de consumir peixe por viver longe do mar, no fim do século esse é um problema inexistente. Inexistente ao

⁶¹ Uma unidade elementar de carga, a carga elétrica do protão ou do eletrão tem o valor de $1.602176487 \times 10^{-19}$ C.

nível das possibilidades técnicas, bem entendido. O período de atividade foi alargado para além das horas em que o Sol está acima do horizonte, e as possibilidades de comunicação revolucionaram o jornalismo. Hoje quase não refletimos sobre o que a tecnologia, nomeadamente a que resultou do estudo e conhecimento dos fenómenos elétricos influenciaram as nossas atividades.

Tabela 5
Simbologia de elementos de circuitos elétricos

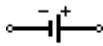
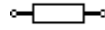
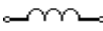
Pilha	
Bateria	
Fio condutor	
Lâmpada	
Resistência	 ou 
Interruptor	
Bobine	
Motor	

Tabela 6
Simbologia de instrumentos de medida.

Amperímetro	
Voltímetro	

Circuitos em série e em paralelo

Os circuitos elétricos podem ser construídos em série ou em paralelo (Figura 59). Vamos utilizar para efeitos de ilustração os circuitos que usam duas lâmpadas iguais, um interruptor e uma pilha. Num circuito em série, a diferença de potencial da pilha é dividida pelas duas lâmpadas, pelo que as lâmpadas mostram menos intensidade luminosa do que num circuito em paralelo. Neste, a diferença de potencial aos terminais de cada uma das lâmpadas é igual à diferença de potencial aos terminais da pilha, pelo que as lâmpadas mostram uma intensidade luminosa igual.

Em nossa casa os circuitos são construídos em paralelo pois, como todos já notamos, se a lâmpada de um quarto se estraga, as outras continuam a funcionar, o que seria impossível num circuito em série.

Para medir a intensidade de corrente elétrica numa determinada zona de um circuito usamos um amperímetro. A unidade da intensidade de corrente elétrica são os amperes, e o símbolo é A. O amperímetro é sempre ligado em série na zona do circuito que se pretende medir.

Para medir a diferença de potencial elétrico (d.d.p.) aos terminais de uma lâmpada, ou de uma pilha utiliza-se um voltmeter. A unidade de diferença de potencial elétrico são os volts, e o símbolo é o V. O voltmeter é sempre ligado em paralelo na zona do circuito que se pretende medir.

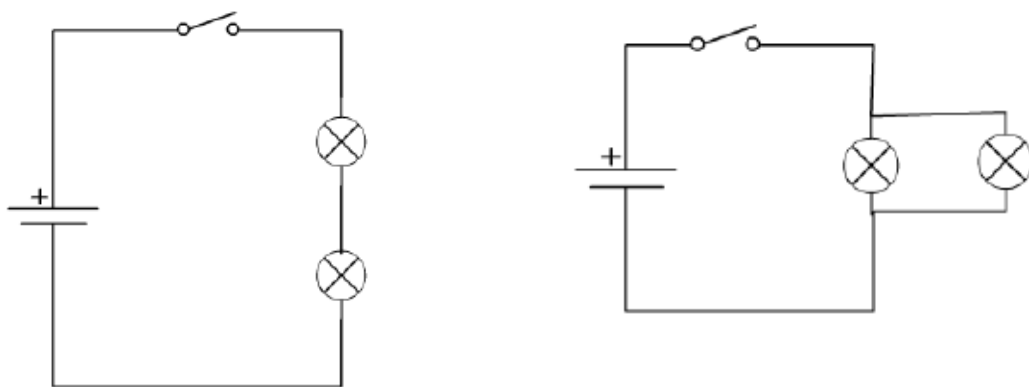


Figura 59. Representação de um circuito com uma pilha, um interruptor e duas lâmpadas em série (esquerda)..

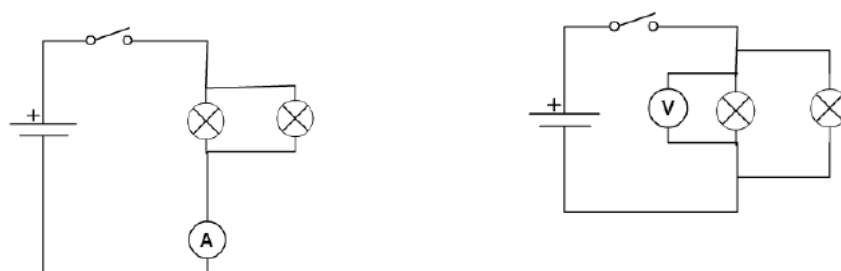


Figura 60. Um amperímetro mede a intensidade de corrente elétrica e é sempre colocado em série no ramo do circuito em que queremos medir a intensidade. (esquerda). Um voltímetro mede a diferença de potencial e é sempre colocado em paralelo aos terminais do elemento do circuito que queremos verificar a diferença de potencial (direita.)

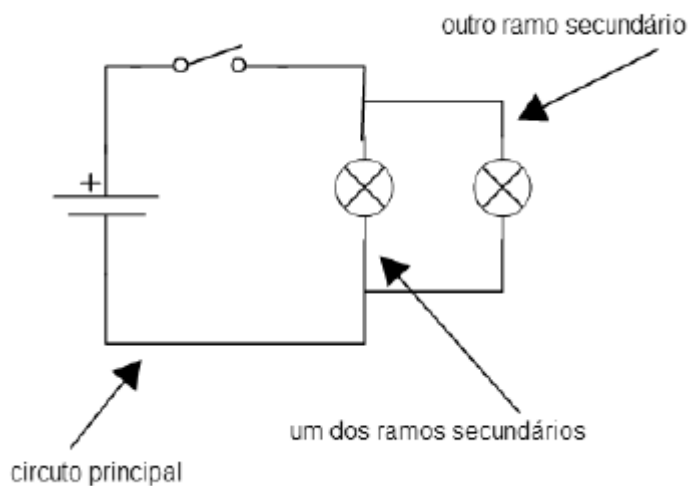


Figura 61. Identificação dos três ramos de um circuito em paralelo com duas lâmpadas, um interruptor e uma pilha.

Magnetismo

O conhecimento dos fenómenos magnéticos desenvolveu-se sensivelmente de modo paralelo ao conhecimento científico dos fenómenos elétricos. Era do conhecimento dos filósofos naturais a existência de magnetite, um mineral que existe na natureza e que atrai materiais de ferro, ou compostos de ferro.

O magnetismo pode, deste modo, existir em certos materiais de forma natural, como na magnetite, ou pode ser induzido um magnetismo temporário em alguns outros materiais. Um corpo de ferro, quando se aproxima de um ímã, fica magnetizado. Neste caso o magnetismo do ferro é temporário. Podemos verificar isto, pois, se afastarmos o ímã, o ferro, passado um tempo, deixa de ter propriedades magnéticas, ou seja deixa de atrair outros bocadinhos de ferro.

O magnetismo permanente existe em geral no aço, que é uma liga de ferro e de carbono. As agulhas magnéticas, ou seja, os ímanes, são feitos de aço. O ferro, níquel e cobalto são exemplos de materiais com magnetismo temporário.

Exemplo de materiais com magnetismo permanente: magnetite (minério natural) e aço (liga de ferro e carbono)

Exemplo de materiais com magnetismo temporário: ferro, cobalto, níquel e compostos destes materiais.

Magnetismo da Terra

Como já referimos, em 1600 William Gilbert publicou a sua famosa obra, o *De Magnete*. Nela diz que a Terra é um grande ímã. E de facto hoje consideramos, para estudar o magnetismo terrestre, a Terra como um grande ímã; ou melhor, podemos dizer que ela se comporta como um grande ímã.

Notem que em 1600 já os portugueses tinham realizado as principais descobertas marítimas e a bússola (ou seja, a agulha magnética) era um instrumento de orientação muito importante. Os marinheiros sabiam que a agulha magnética indicava a direção norte - sul.

Mas ao contrário dos corpos elétricos que podem ter só carga total positiva ou carga total negativa, ou corpos magnéticos têm sempre dois polos que se convencionou chamar norte e sul. Não há um ímã só com um polo!

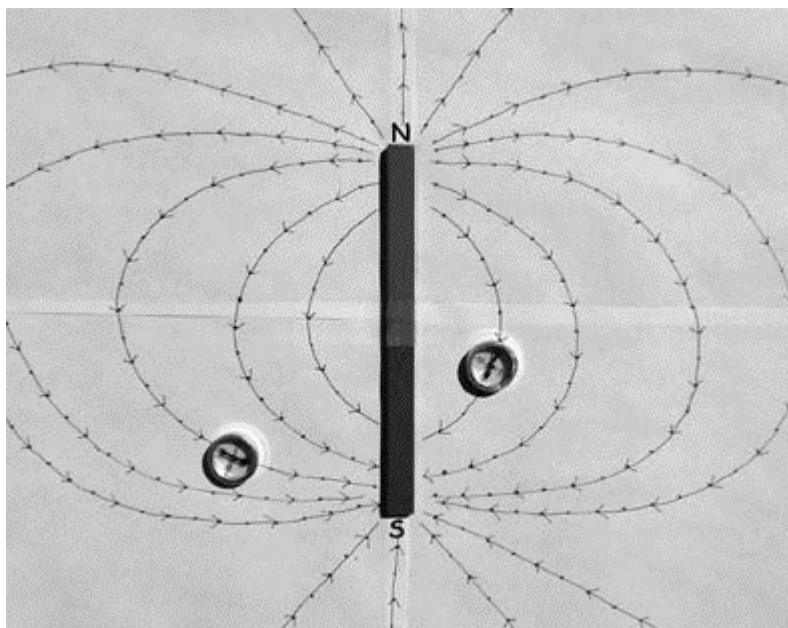


Figura 62. Representação de um ímã, com os seus dois polos e as linhas de campo. As linhas de campo vão do polo norte para o sul e são mais intensas perto dos polos. Fonte: Multiverse: Berkeley University of California.

O nome norte e sul aos polos das agulhas magnéticas surgiu exatamente pelo seu uso na orientação das pessoas. Chamaram norte ao polo que indicava o norte geográfico e sul ao polo da agulha magnética que indicava o sul geográfico.

Mas reparemos que polos de nome igual repelem-se e polos de nome diferente atraem-se. Assim a zona de uma agulha magnética que aponta para norte (sul) é atraída pelo sul (norte) magnético da terra.

O interior da Terra pode ser modelado (para efeitos de representação magnética) a um ímã gigante. A orientação desse ímã tem um desvio relativamente à orientação do eixo de rotação da Terra. Uma agulha magnética indica-nos a direção norte-sul magnético e não norte-sul geográfico. Como o que queremos é orientar-nos com uma bússola em direção ao norte (sul) geográfico, necessitamos de ter em conta a declinação do lugar.

A declinação de um lugar é a distância (angular) entre o Norte geográfico e o magnético. Para Lisboa essa declinação é de pouco mais de 3° W. É um valor pouco significativo. Mas na Madeira já é de 6° W e nos Açores de cerca de 12° W.

Tendo em conta os valores da declinação magnética para Lisboa, eles significam que, se seguisse-mos a direção apontada pela bússola em Lisboa estaríamos a

caminhar 3° para Oeste em relação ao norte geográfico. Se em Lisboa esse valor não será significativo, o erro cometido nos Açores é enorme, pelo que necessita de ser corrigido.

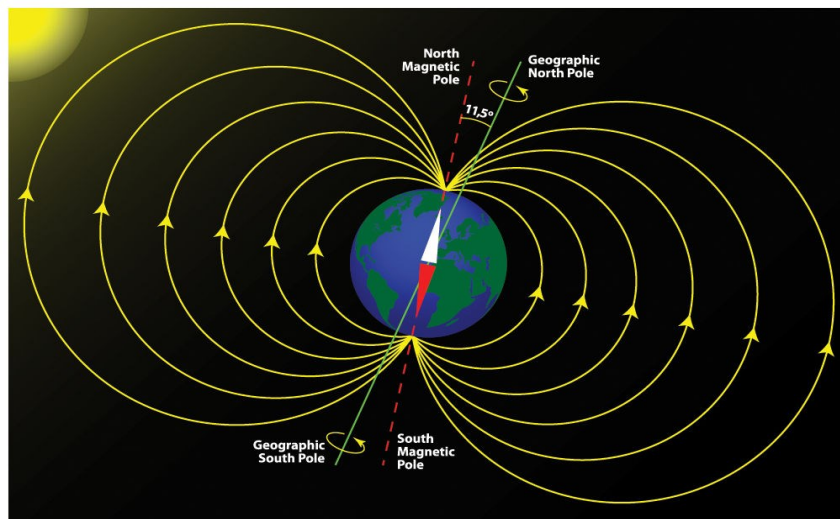


Figura 63. O interior da Terra pode ser modelado (para efeitos de representação magnética) a um ímã gigante.

Correntes elétricas e magnetismo

Michael Faraday (1791 – 1867) descobriu em 1831 a indução eletromagnética, ou seja, que uma corrente elétrica provoca um campo magnético - efeito já antes descoberto pelo dinamarquês Hans Christian Oersted (1777 - 1851), e que um campo magnético variável provoca uma corrente elétrica num circuito fechado. A relação estreita entre o magnetismo e a eletricidade ficava assim estabelecida dando origem aos trabalhos de James Clerk Maxwell (1831 - 1879), que já encontrámos nos estudos de ótica.

Para além das suas atividades como investigador em diversas áreas, Faraday assumiu diversos projetos empresariais e de consultadoria ao governo Britânico. Na altura as minas de carvão estavam em grande atividade em Inglaterra e os acidentes eram frequentes e terríveis. Faraday foi encarregue de investigar o assunto e propor soluções. Este envolvimento social do cientista também o levou a que recusasse cooperar com o governo no desenvolvimento de armas químicas para a guerra da Crimeia.

Se colocarmos uma agulha magnética sobre um fio condutor de um circuito com o interruptor aberto, a agulha magnética orienta-se segundo o campo magnético da

Terra. No entanto se fecharmos o circuito iremos ver que a agulha magnética sofrerá um desvio indo orientar-se segundo uma nova direção: a direção do campo magnético da Terra somado ao campo magnético criado pela passagem de corrente elétrica.

Por outro lado, se montarmos um circuito sem pilha ou gerador mas com uma bobine e fizermos passar pelo interior da bobine um íman, veremos que é criada uma corrente elétrica cuja intensidade podemos medir usando um amperímetro. Em última instância, e se a corrente for suficientemente forte, podemos usar o nosso trabalho de movermos o íman para trás e para a frente dentro da bobine para acendermos uma lâmpada, transformando energia mecânica (dos nossos músculos) em energia elétrica.

Este é o princípio de funcionamento da transformação de energia não elétrica (hídrica, nuclear, etc.) em elétrica: grandes ímanes são forçados a moverem-se relativamente a bobines enormes.

Além do mais, o campo magnético de uma bobine é em tudo idêntico ao de um íman

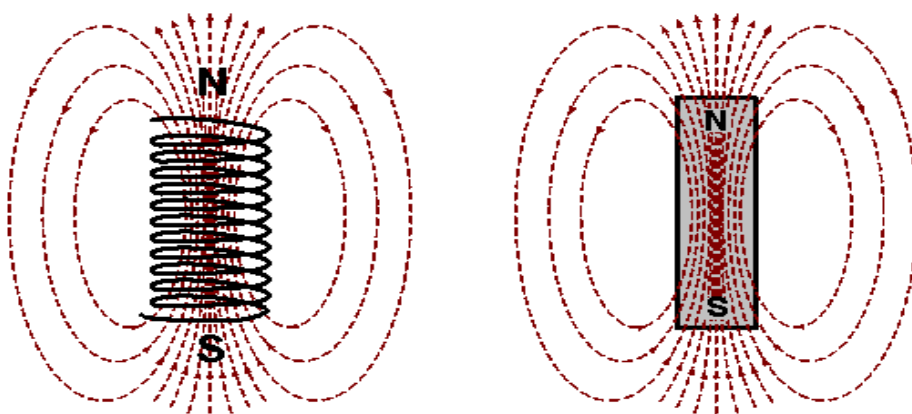


Figura 64. Campo magnético criado pelo fluxo de corrente elétrica em uma bobine (esquerda). Campo magnético de um íman (direita). Os dois campos são em tudo idênticos.

Origem do magnetismo da Terra

Esta é uma questão científica com algumas respostas preliminares mas com poucas certezas. Sabe-se que o interior da Terra é percorrido por correntes de ferro fundido, ou seja partículas carregadas. Como partículas carregadas, ou seja, iões, eletrões ou prótons em movimento geram um campo magnético, o campo magnético da Terra terá a sua origem nessas correntes interiores de ferro líquido.

O magnetismo e a medicina

O corpo humano é percorrido por correntes elétricas. O cérebro ou o coração são exemplos de partes do corpo onde cargas elétricas em movimento mantêm a atividade cerebral ou coronária.

Mas mais uma vez, e voltando à ideia de que cargas elétricas em movimento provocam campos magnéticos, temos aqui a origem do princípio de funcionamento dos processos médicos como o magnetoencefalograma para o estudo do cérebro, ou a magnetocardiografia para o estudo do coração.

Forças Fundamentais

Sabemos que a larga escala, ou seja, distâncias enormes e massas enormes, a força dominante é a força gravítica. Esta tem um alcance virtualmente infinito e diminui com o inverso do quadrado da distância entre dois corpos.

Ao nível do átomo, a força que domina é a força eletromagnética (a força que resultou da unificação do magnetismo com a eletricidade). É essa força que mantém a coesão dos átomos. Ela é a segunda mais forte, a seguir à força nuclear forte. Esta é responsável pela coesão dos núcleos dos átomos, e tem um alcance muito pequeno.

Por fim, temos a força nuclear fraca que é responsável pelos processos de decaimento radioativo. Ou seja, por ordem crescente de intensidade temos a seguinte ordenação das quatro forças fundamentais da natureza.

- Força gravítica
- Força nuclear fraca
- Força eletromagnética
- Força nuclear forte.

E estas são todas as forças da natureza!

Apêndice F
Questionário Q1: Resultados

Tabela 1

Primeiro Ciclo de IA: Abundância de Aspectos Pertencentes ao Esquema da Visão Espontânea.

#	Aspecto do conhecimento	AA _i (%)	AA _f (%)	GA (%)
1-1	Em esquemas e diagramas apoiados por explicações, não é realizada nenhuma referência a ligação/relação entre o olho e a imagem ou objeto observado.	6,8	2,3	+4,5
1-2	Não é feita, nas descrições e esquemas descrevendo o processo de visão, uma referência a uma relação <i>física</i> entre o olho que observa e o objeto observado.	61,4	39,5	+22
1-3	Para ver um objeto 'focamos' os olhos nele, prestamos atenção ao objeto, olhamos para ele.	45,5	34,9	+11
1-4	O objetos são observados apenas se estão localizados no campo de visão do observador e não são tapados.	31,8	23,3	+8,6
1-5	A luz pode ser vista de lado desde que nada bloqueie a visão.	n.d ¹	n.d	---
1-6	A luz é um plano de fundo de ajuda à visão.	13,6	0,0	+14
1-7	A luz é necessária para iluminar o objeto de modo a que ele possa ser visto pelo olho.	2,3	0,0	+2,3
1-8	A luz é necessária para iluminar os olhos, permitindo desse modo o seu funcionamento.	0	2,3	-2,3

Amostra inicial = 44; Amostra final = 43

¹ n.d: não determinado pelos nossos instrumentos

Notas: AA_i e AA_f - abundância dos aspectos antes e após a instrução, respetivamente. GA - ganho da abundância dos aspectos com a instrução. Um ganho positivo (+) ou negativo (-) significa uma evolução em direção a concepções próximas das cientificamente aceites, ou um afastamento, respetivamente. Cada aspecto está presente ou ausente no aluno, contando a sua presença apenas uma vez.

Tabela 2

Primeiro Ciclo de IA: Abundância de Aspetos Pertencentes aos Esquema Corpóreo da Luz

#	Aspeto do conhecimento	AA _i (%)	AA _f (%)	GA (%)
2-1	A luz é brilhante, logo é melhor vista no escuro.	n.d. ¹ .	n.d.	---
2-2	A luz pode ser vista de lado desde que nada bloqueie a visão.	n.d.	n.d.	---
2-3	A luz preenche o espaço e permanece estacionária (assim, o céu é brilhante).	4,5	14,0	- 9,4
2-4	A luz permanece como uma auréola à volta da fonte de luz (vela, fósforo, lâmpada, etc.).	29,5	7,0	+ 23
2-5	A luz é composta de raios de luz (em grande quantidade ou em número infinito) que preenchem o espaço.	34,1	58,0	- 24
2-6	Os raios de luz assemelham-se a fibras de uma corda.	15,9	20,9	- 5
2-7	Os raios de luz espalham-se e iluminam o espaço ou as superfícies.	20,5	14,0	+ 6,5
2-8	Ao entrar numa lente ou prisma os raios de luz quebram-se ou dobram e desviam-se do seu percurso em linha reta.	n.d.	n.d.	---
2-9	A distância percorrida pela luz aumenta com a intensidade da fonte.	88,6	51,2	+ 37

Amostra inicial = 44; Amostra final = 43

¹ n.d: não determinado pelos nossos instrumentos

Notas: AA_i e AA_f - abundância dos aspetos antes e após a instrução respetivamente. GA - ganho da abundância dos aspetos com a instrução. Um ganho positivo (+) ou negativo (-) significa uma evolução em direção a concepções próximas das cientificamente aceites, ou um afastamento, respetivamente. Cada aspeto está presente ou ausente no aluno, contando a sua presença apenas uma vez. O aspeto 2-9 não existe em Galili et al. (2000)

Tabela 3

Primeiro Ciclo de IA: Aspetos Pertencentes ao Esquema da Luz-lanterna

#	Aspeto do conhecimento	AA _i (%)	AA _f (%)	GA (%)
3-1	A luz viaja em linha reta (representada por linhas ordenadas e desordenadas em desenhos)	13,6	32,6	+ 18,9
3-2	Quando é indicada luz a ser emitida de uma fonte de luz, são representadas linhas retas que saem radialmente da fonte. Cada raio sai de um ponto da fonte.	18,2	11,6	+ 6,6
3-3	Luz passando através de uma pequena abertura tem a forma de um feixe cilíndrico.	20,5	25,6	- 5,1
3-4	Luz passando através de uma pequena abertura tem a forma de um feixe cónico que se abre (espalha) gradualmente em direção ao ecrã.	75	65,1	+ 9,9
3-5	O tamanho da zona iluminada no ecrã aumenta com a distância da lâmpada à abertura	n.d. ¹	n.d.	---
3-6	A zona iluminada no ecrã tem a mesma forma da abertura colocada entre a placa e a fonte.	n.d.	n.d.	---
3-7	São usados raios de luz que divergem da fonte de luz para prever uma imagem produzida por uma lente num ecrã.	n.d.	n.d.	---
3-8	É ignorada toda a luz que diverge de uma lâmpada	n.d.	n.d.	---

Amostra inicial = 44; Amostra final = 43

¹ n.d.: não determinado pelos nossos instrumentos

Notas: AA_i e AA_f - abundância dos aspetos antes e após a instrução respetivamente. GA - ganho da abundância dos aspetos com a instrução. Um ganho positivo (+) ou negativo (-) significa uma evolução em direção a conceções próximas das cientificamente aceites, ou um afastamento, respetivamente. Cada aspeto está presente ou ausente no aluno, contando a sua presença apenas uma vez.

Tabela 4

Primeiro Ciclo de IA: Aspectos Pertencentes ao Esquema Holístico da Imagem

#	Aspeto do conhecimento	AA _i (%)	AA _f (%)	GA (%)
4-1	Uma imagem move-se do objeto em direção ao espelho, onde permanece (o observador não é envolvido).	n.d ¹ .	n.d.	---
4-2	A imagem está sempre presente no espelho, seja ou não observada. (Ainda que não a possas ver, outros podem)	90,9	65,1	+ 26
4-3	As imagens são em primeiro lugar criadas por um material especial, entre os quais o espelho. Depois olhamos para o espelho e vemos-las.	a.a ² .	a.a.	---
4-4	Quando não vemos uma imagem no espelho é porque não está no nosso campo de visão. (Mas ela continua a existir e qualquer outra pessoa pode vê-la.)	a.a.	a.a.	---
4-5	Os espelhos duplicam ("refletem") os objetos através da criação de imagens. A luz pode ajudar (por estimulação ou iluminação).	2,3	0	+ 2,3
4-6	A imagem viaja em direção ao espelho e volta para trás (é refletido por ele).	2,3	4,7	- 2,4
4-7	A imagem atinge o espelho e é refletida por ele com um ângulo igual ao de incidência.	n.d ¹ .	n.d.	---
4-8	Obstáculos no caminho impedem a imagem de atingir o espelho.	n.d.	n.d.	---
4-9	O espelho inverte a imagem da direita para esquerda.	a.a.	a.a.	---
4-10	Uma lente faz com que a imagem fique invertida.	a.a.	a.a.	---
4-11	Metade de uma lente produz metade de uma imagem. O restante é bloqueado.	n.d.	n.d.	---
4-12	Se a tela é afastada ou aproximada da lente, a imagem torna-se menor ou maior mas permanece nítida.	n.d.	n.d.	---
4-13	Quando uma lente convergente é retirada, uma imagem direita substitui a imagem invertida.	n.d.	n.d.	---
4-14	Não vemos luz mas sim imagens. (Para ver uma imagem, ela tem de entrar no olho.)	6,8	9,3	- 2,5
4-15	Um prisma triangular divide a imagem em dois.	n.d.	n.d.	---
4-16	As imagens são criadas (independentemente da montagem), logo podem ser sempre obtidas numa tela.	n.d.	n.d.	---
4-17	A luz não cria imagens, apenas nos ajuda a vê-las.	2,3	0	+ 2,3

Amostra inicial = 44; Amostra final = 43

¹ n.d: não determinado pelos nossos instrumentos; ² a.a: aspeto ausente.

Notas: AA_i e AA_f - abundância dos aspetos antes e após a instrução respetivamente. GA - ganho da abundância dos aspetos com a instrução. Um ganho positivo (+) ou negativo (-) significa uma evolução em direção a conceções próximas das cientificamente aceites, ou um afastamento, respetivamente. Cada aspeto está presente ou ausente no aluno, contando a sua presença apenas uma vez.

Tabela 5

Primeiro Ciclo de IA: Aspectos Pertencentes ao Esquema Sombra como Imagem Projetada

#	Aspetto do conhecimento	AA _i (%)	AA _f (%)	GA (%)
6-1	Um corpo dá a sua forma à sombra que suscita.	n.d. ¹ .	n.d.	---
6-2	A forma de uma sombra não depende da forma da fonte de luz.	n.d.	n.d.	---
6-3	Uma sombra é uma “reflexão” (reprodução) de um objeto.	n.d.	n.d.	---
6-4	Existe sempre uma sombra e a luz faz com que ela se torne visível.	n.d.	n.d.	---
6-5	Uma sombra é independente após ‘deixar’ o objeto.	n.d.	n.d.	---
6-6	A luz desencadeia a produção de uma sombra por um objeto.	n.d.	n.d.	---
6-7	Sombras de objetos podem ser manipulados (como um todo) – adicionadas ou subtraídas – para prever ou explicar os padrões de sombra formados.	n.d.	n.d.	---
6-8	Não são previstas sombras parciais (penumbras)	95,5	74,4	+ 21
6-9	Nos desenhos as sombras estão orientadas aleatoriamente em relação às fontes de luz.	n.d.	n.d.	---
6-10	O surgimento de sombra não está relacionado com o bloqueio da luz.	n.d.	n.d.	---
6-11	Existe uma ausência de correlação nos desenhos dos alunos entre a distribuição de luz, o tamanho e posição de um objeto e a sua sombra.	61,4	62,8	- 1,8

Amostra inicial = 44; Amostra final = 43

¹ n.d: não determinado pelos nossos instrumentos

Notas: AA_i e AA_f - abundância dos aspectos antes e após a instrução respectivamente. GA - ganho da abundância dos aspectos com a instrução. Um ganho positivo (+) ou negativo (-) significa uma evolução em direção a concepções próximas das cientificamente aceitas, ou um afastamento, respectivamente. Cada aspecto está presente ou ausente no aluno, contando a sua presença apenas uma vez.

Tabela 6

Segundo Ciclo de IA: Abundância de Aspetos Pertencentes ao Esquema da Visão Espontânea.

#	Aspeto do conhecimento	AA _i (%)	AA _f (%)	GA (%)
1-1	Em esquemas e diagramas apoiados por explicações, não é realizada nenhuma referência a ligação/relação entre o olho e a imagem ou objeto observado.	1,7	0	+ 1,7
1-2	Não é feita, nas descrições e esquemas descrevendo o processo de visão, uma referência a uma relação <i>física</i> entre o olho que observa e o objeto observado.	46,7	24,1	+ 23
1-3	Para ver um objeto 'focamos' os olhos nele, prestamos atenção ao objeto, olhamos para ele.	41,7	34,5	+ 7,2
1-4	O objetos são observados apenas se estão localizados no campo de visão do observador e não são tapados.	23,3	5,2	+ 18
1-5	A luz pode ser vista de lado desde que nada bloqueie a visão.	n.d ¹ .	n.d.	---
1-6	A luz é um plano de fundo de ajuda à visão.	10	3,4	+ 6,6
1-7	A luz é necessária para iluminar o objeto de modo a que ele possa ser visto pelo olho.	11,7	13,8	- 2,1
1-8	A luz é necessária para iluminar os olhos, permitindo desse modo o seu funcionamento.	1,7	6,9	- 5,2

Amostra inicial = 60; Amostra final = 58

¹ n.d: não determinado pelos nossos instrumentos

Notas: AA_i e AA_f - abundância dos aspetos antes e após a instrução, respetivamente. GA - ganho da abundância dos aspetos com a instrução. Um ganho positivo (+) ou negativo (-) significa uma evolução em direção a concepções próximas das cientificamente aceites, ou um afastamento, respetivamente. Cada aspeto está presente ou ausente no aluno, contando a sua presença apenas uma vez.

Tabela 7

Segundo Ciclo de IA: Abundância de Aspetos Pertencentes aos Esquema Corpóreo da Luz

#	Aspeto do conhecimento	AA _i (%)	AA _f (%)	GA (%)
2-1	A luz é brilhante, logo é melhor vista no escuro.	n.d.	n.d.	---
2-2	A luz pode ser vista de lado desde que nada bloqueie a visão.	n.d.	n.d.	---
2-3	A luz preenche o espaço e permanece estacionária (assim, o céu é brilhante).	11,7	3,4	+ 8,2
2-4	A luz permanece como uma auréola à volta da fonte de luz (vela, fósforo, lâmpada, etc.).	23	3,4	+ 19,6
2-5	A luz é composta de raios de luz (em grande quantidade ou em número infinito) que preenchem o espaço.	30	43,1	- 13,1
2-6	Os raios de luz assemelham-se a fibras de uma corda.	30	31	- 1
2-7	Os raios de luz espalham-se e iluminam o espaço ou as superfícies.	26,7	19	+ 7,7
2-8	Ao entrar numa lente ou prisma os raios de luz quebram-se ou dobram e desviam-se do seu percurso em linha reta.	n.d.	n.d.	---
2-9	A distância percorrida pela luz aumenta com a intensidade da fonte.	78,3	63,8	14,5

Amostra inicial = 60; Amostra final = 58

¹ n.d: não determinado pelos nossos instrumentos

Notas: AA_i e AA_f - abundância dos aspetos antes e após a instrução, respetivamente. GA - ganho da abundância dos aspetos com a instrução. Um ganho positivo (+) ou negativo (-) significa uma evolução em direção a conceções próximas das cientificamente aceites, ou um afastamento, respetivamente. Cada aspeto está presente ou ausente no aluno, contando a sua presença apenas uma vez.

Tabela 8
Segundo Ciclo de IA: Aspetos Pertencentes ao Esquema da Luz-lanterna

#	Aspeto do conhecimento	AA _i (%)	AA _f (%)	GA (%)
3-1	A luz viaja em linha reta (representada por linhas ordenadas e desordenadas em desenhos)	30	50	+ 20
3-2	Quando é indicada luz a ser emitida de uma fonte de luz, são representadas linhas retas que saem radialmente da fonte. Cada raio sai de um ponto da fonte.	16,7	5,2	+ 11,5
3-3	Luz passando através de uma pequena abertura tem a forma de um feixe cilíndrico.	13,3	19	- 5,6
3-4	Luz passando através de uma pequena abertura tem a forma de um feixe cónico que se abre (espalha) gradualmente em direção ao ecrã.	63,3	69	- 5,6
3-5	O tamanho da zona iluminada no ecrã aumenta com a distância da lâmpada à abertura	n.d. ¹	n.d.	---
3-6	A zona iluminada no ecrã tem a mesma forma da abertura colocada entre a placa e a fonte.	n.d.	n.d.	---
3-7	São usados raios de luz que divergem da fonte de luz para prever uma imagem produzida por uma lente num ecrã.	n.d.	n.d.	---
3-8	É ignorada toda a luz que diverge de uma lâmpada	n.d.	n.d.	---

Amostra inicial = 60; Amostra final = 58

¹ n.d: não determinado pelos nossos instrumentos

Notas: AA_i e AA_f - abundância dos aspetos antes e após a instrução respetivamente. GA - ganho da abundância dos aspetos com a instrução. Um ganho positivo (+) ou negativo (-) significa uma evolução em direção a conceções próximas das cientificamente aceites, ou um afastamento, respetivamente. Cada aspeto está presente ou ausente no aluno, contando a sua presença apenas uma vez.

Tabela 9
Segundo Ciclo de IA: Aspetos Pertencentes ao Esquema Holístico da Imagem

#	Aspeto do conhecimento	AA _i (%)	AA _f (%)	GA (%)
4-1	Uma imagem move-se do objeto em direção ao espelho, onde permanece (o observador não é envolvido).	n.d. ¹	n.d.	---
4-2	A imagem está sempre presente no espelho, seja ou não observada. (Ainda que não a possas ver, outros podem)	75	82,8	- 7,8
4-3	As imagens são em primeiro lugar criadas por um material especial, entre os quais o espelho. Depois olhamos para o espelho e vemo-las.	1,1	1	+ 0,1
4-4	Quando não vemos uma imagem no espelho é porque não está no nosso campo de visão. (Mas ela continua a existir e qualquer outra pessoa pode vê-la.)	11,7	0	+ 11,7
4-5	Os espelhos duplicam ("refletem") os objetos através da criação de imagens. A luz pode ajudar (por estimulação ou iluminação).	16,7	0	+ 16,7
4-6	A imagem viaja em direção ao espelho e volta para trás (é refletido por ele).	3,3	3,4	-0,1
4-7	A imagem atinge o espelho e é refletida por ele com um ângulo igual ao de incidência.	n.d.	n.d.	---
4-8	Obstáculos no caminho impedem a imagem de atingir o espelho.	n.d.	n.d.	---
4-9	O espelho inverte a imagem da direita para esquerda.	1,7	0	+ 1,7
4-10	Uma lente faz com que a imagem fique invertida.	0	1,7	- 1,7
4-11	Metade de uma lente produz metade de uma imagem. O restante é bloqueado.	n.d.	n.d.	---
4-12	Se a tela é afastada ou aproximada da lente, a imagem torna-se menor ou maior mas permanece nítida.	n.d.	n.d.	---
4-13	Quando uma lente convergente é retirada, uma imagem direita substitui a imagem invertida.	n.d.	n.d.	---
4-14	Não vemos luz mas sim imagens. (Para ver uma imagem, ela tem de entrar no olho.)	6,7	19	-12,3
4-15	Um prisma triangular divide a imagem em dois.	n.d.	n.d.	---
4-16	As imagens são criadas (independentemente da montagem), logo podem ser sempre obtidas numa tela.	n.d.	n.d.	---
4-17	A luz não cria imagens, apenas nos ajuda a vê-las.	1,7	0	+ 1,7

Amostra inicial = 60; Amostra final = 58

¹ n.d.: não determinado pelos nossos instrumentos

Notas: AA_i e AA_f - abundância dos aspetos antes e após a instrução respetivamente. GA - ganho da abundância dos aspetos com a instrução. Um ganho positivo (+) ou negativo (-) significa uma evolução em direção a conceções próximas das cientificamente aceites, ou um afastamento, respetivamente. Cada aspeto está presente ou ausente no aluno, contando a sua presença apenas uma vez.

Tabela 10

Segundo Ciclo de IA: Aspectos Pertencentes ao Esquema Sombra como Imagem Projetada.

#	Aspeto do conhecimento	AA _i (%)	AA _f (%)	GA (%)
6-1	Um corpo dá a sua forma à sombra que suscita.	n.d. ¹ .	n.d.	---
6-2	A forma de uma sombra não depende da forma da fonte de luz.	n.d.	n.d.	---
6-3	Uma sombra é uma “reflexão” (reprodução) de um objeto.	n.d.	n.d.	---
6-4	Existe sempre uma sombra e a luz faz com que ela se torne visível.	n.d.	n.d.	---
6-5	Uma sombra é independente após ‘deixar’ o objeto.	n.d.	n.d.	---
6-6	A luz desencadeia a produção de uma sombra por um objeto.	n.d.	n.d.	---
6-7	Sombras de objetos podem ser manipulados (como um todo) – adicionadas ou subtraídas – para prever ou explicar os padrões de sombra formados.	n.d.	n.d.	---
6-8	Não são previstas sombras parciais (penumbras)	85	81	+ 4
6-9	Nos desenhos as sombras estão orientadas aleatoriamente em relação às fontes de luz.	n.d.	n.d.	---
6-10	O surgimento de sombra não está relacionado com o bloqueio da luz.	n.d.	n.d.	---
6-11	Existe uma ausência de correlação nos desenhos dos alunos entre a distribuição de luz, o tamanho e posição de um objeto e a sua sombra.	45,0	41,4	+ 3,7

Amostra inicial = 60; Amostra final = 58

¹ n.d.: não determinado pelos nossos instrumentos

Notas: AA_i e AA_f - abundância dos aspetos antes e após a instrução respetivamente. GA - ganho da abundância dos aspetos com a instrução. Um ganho positivo (+) ou negativo (-) significa uma evolução em direção a concepções próximas das cientificamente aceites, ou um afastamento, respetivamente. Cada aspeto está presente ou ausente no aluno, contando a sua presença apenas uma vez.

Tabela 11

Abundância dos esquemas antes (AE_i) e após (AE_f) cada TLS e ganho dos esquemas com a instrução (GE). Um ganho positivo significa uma aproximação ao conhecimento de domínio cientificamente aceite

#	Esquema	Primeiro Ciclo de IA			Segundo Ciclo de IA		
		AE_i (%)	AE_f (%)	GE (%)	AE_i (%)	AE_f (%)	GE (%)
1	Visão espontânea	31,8	32,6	- 0,7	26,7	16,9	+ 9,8
2	Esquema corpóreo da luz	37,7	27,5	+ 10,2	33,3	39,2	- 5,9
3	Luz-lanterna	31,8	33,7	- 1,9	30,8	35,8	- 4,9
4	Imagem como entidade holística	48,9	37	+ 11,7	27,5	50,9	- 23,4
5	Imagem projetada.	s.d.	s.d.	---	s.d.	s.d.	---
6	Sombra como imagem	78,4	68,6	+ 9,8	65	61,2	+3,8
7	Sombra relacionada com o ambiente	s.d.	s.d.	---	s.d.	s.d.	---

Apêndice G

Excursão histórica sobre a Visão

Excursão história sobre a Visão¹

Quando o Homem olhou para o lago e se (re)viu, surgiu o problema da compreensão da imagem.

[Importância da imagem no mundo ocidental contemporâneo, na moda, arte, comércio...]

(Grego: optica vem de ops = olho)

Perceber a imagem, ou seja, entender o que é, como se forma, e de que modo nos apercebemos dela através da visão é um conjunto de problemas que os filósofos naturais e cientistas procuraram resolver.

Os Antigos desenvolveram quatro teorias concorrentes que procuravam explicar a formação de imagem.

Teorias da visão.

Teoria de emissão, desenvolvida nos séculos V e IV a.C. (Figura 1)

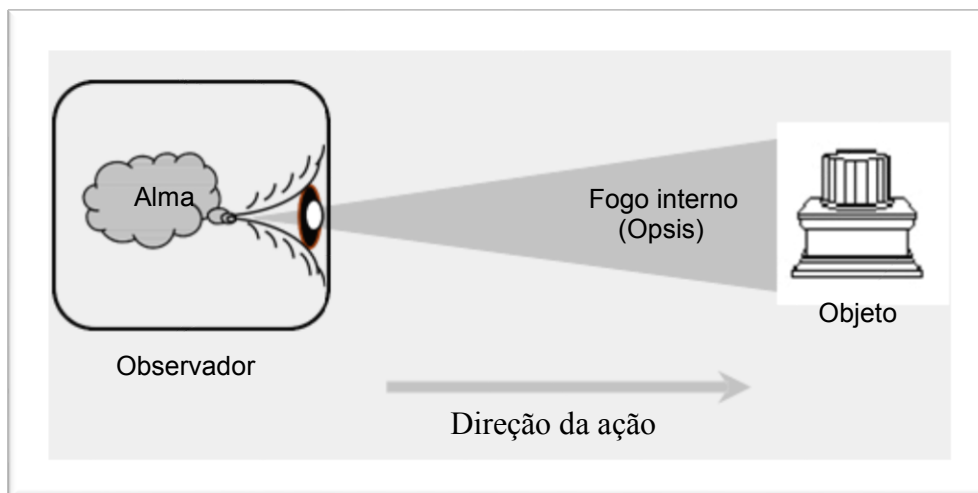


Figura 1 Representação esquemática da teoria Pitagórica da emissão. Adaptada de Galili (2004).

¹ A presente adaptação do trabalho de Galili (2010) ficou numa forma muito esquemática e inicial. Dentro de parênteses retos são apresentados alguns aspetos que ou são para serem objeto de desenvolvimento, ou então notas pessoais para as aulas.

A teoria afirma que a visão é uma percepção tátil que se realiza pela ação de um fluxo de visão (Fogo Interno, *Opsis*), uma espécie de radiação que sai dos olhos do observador em direção ao objeto.

Podemos perceber a lógica desta teoria se interpretarmos, como os Antigos pitagóricos e adeptos desta teoria, a visão como um sentido tátil, como o cheirar, o ouvir, o toque ou o sabor. Em todos estes sentidos procuramos o contacto para que seja mais intensa a respetiva sensação. Por outro lado na visão, a iniciativa de ver pertence ao observador que orienta a cabeça e olhos na direção do que pretende ver; foca-se no objeto.

[Mais argumentos: visão ativa; superfícies convexas e concavas; observação de animais: gatos; olhos brilhantes no escuro.]

Os oponentes da teoria da emanção argumentaram com duas questões que, dentro desta teoria, não obtinham resposta satisfatória: “Porque não vemos à noite?” e “Por que motivo vemos imediatamente as estrelas distantes assim que abrimos os olhos?”

Uma outra teoria que procurava explicar o mesmo fenómeno, a visão, é a teoria da receção e deve-se à escola dos Atomistas de Demócrito.

Teoria da receção, devida aos Atomistas Leucipo e Demócrito, séc. V a.C. [para as dificuldades em determinar datas e autorias dos autores pré-socráticos e em particular dos atomistas, ver e.g. Kirk, Raven & Shofield (1983, p. 427)]

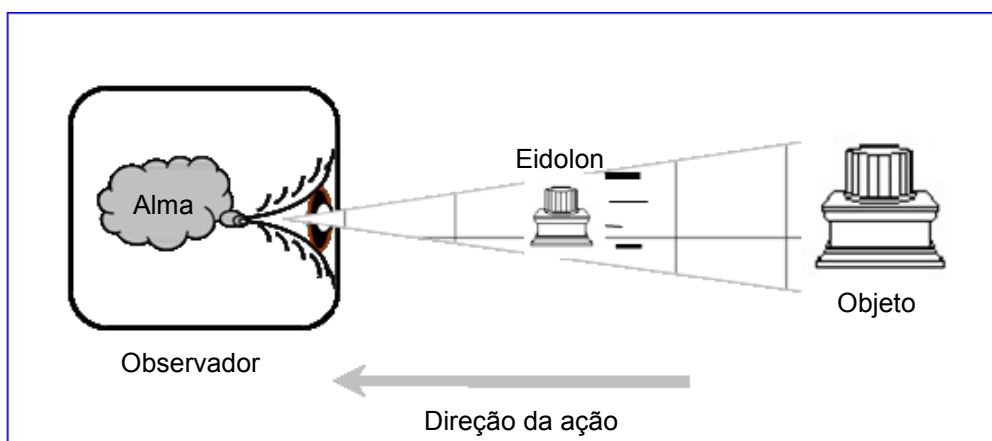


Figura 2 Representação esquemática da teoria Atomista da receção. Adaptação de Galili (2004).

A teoria afirma que cada objeto produz uma espécie de réplica ou imagem (*eidolon*) (Fig.2). Constituída por átomos desse objeto, as imagens (*eidola*) saem do objeto em todas as direções, entrando no olho do observador causando o efeito de ver.

Notemos que esta teoria já permite explicar por que quando abrimos os olhos vemos de imediato uma estrela, mas o problema de não vermos à noite continua a não ser resolvido por nenhuma destas teorias. Outro argumento levantado contra a teoria vem da necessidade de explicar como as imagens de objetos grandes conseguem entrar no nosso olho.

Uma terceira teoria da visão, teoria de Empédocles e Platão, contém elementos das duas teorias anteriores.

Teoria de Empédocles-Platão

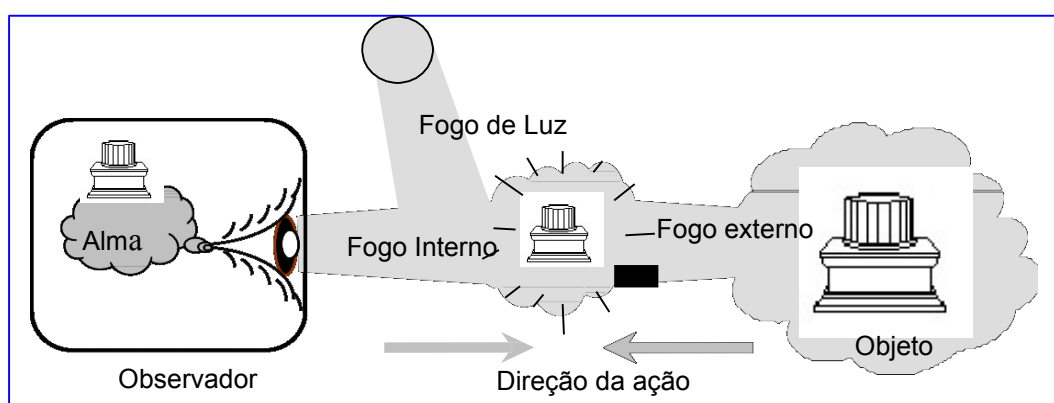


Figura 3 Representação esquemática da teoria híbrida da visão de Empédocles-Platão. Adaptação de Galili (2004).

A teoria afirma que a visão resulta do encontro de três fogos (Fig.4): O “fogo puro” da luz diurna não misturado ou contaminado com outros corpos, o “fogo interno” que emana do globo ocular e que é do mesmo tipo que a luz diurna e o “fogo externo” irradiado pelos objetos e que se relaciona com as suas cores.

A percepção visual é assim provocada pela influência da luz solar que interage com o fogo interno do observador e que, por intermédio de algum mecanismo, induz a irradiação de fogo pelos objetos iluminados.

Nesta complexa teoria encontramos pela primeira vez a luz solar, uma luz ou um fogo que não tem origem nem no observador nem no objeto, como sendo necessária à visão.

Aristóteles (384-322 b.C), o grande filósofo Grego discípulo de Platão e cujo pensamento influenciou decisivamente a atividade filosófica e cultural até ao século XVIII também desenvolveu a sua teoria da visão.

Teoria Aristotélica

Na sua teoria, que se constitui como uma teoria da receção com um mediador, Aristóteles realizou uma distinção entre a cor, que considerava uma propriedade intrínseca aos objectos e a luz, que concebia como um agente não-material que tornava os vários meios (ar, água, vidro) transparentes, permitindo assim o processo da visão.

Esta teoria defende que é a cor dos objectos que causa uma compressão do meio, normalmente o ar, entre o objecto e o observador, compressão essa que atinge o observador e é percebida pelos olhos. Na ausência de cor e sendo o meio transparente, os objectos não seriam perceptíveis.

Sobre a importância das teorias dos Antigos.

A explicação dos fenómenos naturais segundo princípios da própria natureza (luz, fogo, ar, água, Sol, etc.) e não no mito, teve origem com o pensamento dos Antigos, nome genérico dado aos filósofos que sucederam a Tales de Mileto (fl. 585 a.C), considerado o primeiro a elaborar uma teoria “para explicar o mundo” sem o recurso ao mito (Kirk 1983) e que conseguiu prever um eclipse.

[desenvolver um pouco. Utilizar Edward Grant, Os fundamentos da ciência Moderna na Idade Média pp 12,13; No século II a.C. a Grécia é anexada à província Romana da Macedónia]

Euclides (330 a.C. - 260 a.C.) nasceu na Síria e estudou em Atenas. Adotando a concepção teórica da emanação com origem na teoria pitagórica, refinou-a introduzindo o conceito de raio. Este passo foi essencial para o desenvolvimento da ótica matemática. Para Euclides a luz era considerada como constituída por raios de luz e a visão ocorria com a emanação de raios de luz pelo observador.

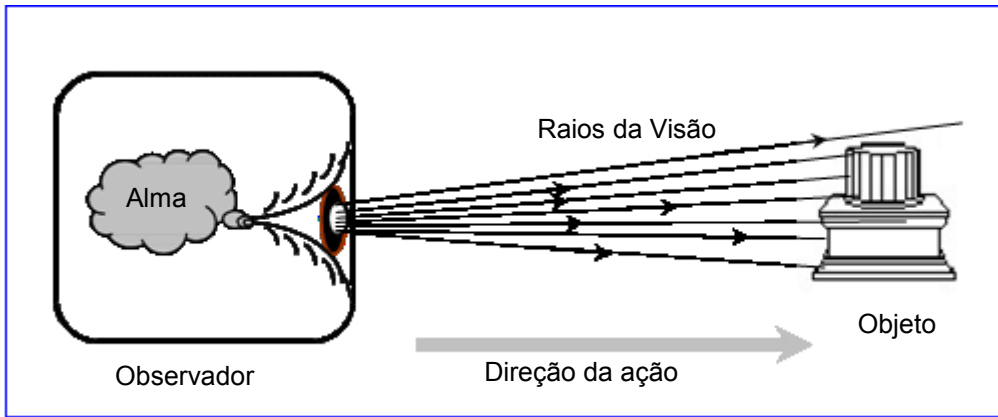


Figura 4 Representação esquemática da teoria da visão de Euclides. O olho do observador emite raios de visão, detetando assim o objeto.

A introdução dos raios de luz e raios de visão na descrição do fenómeno da visão por Euclides vai perdurar até hoje, sendo a base da ótica geométrica. De facto os raios da visão, conforme veremos já de seguida cairão em desuso em favor dos raios de luz. No entanto, sendo reversível o percurso dos raios na ótica geométrica, o facto de considerarem raios de visão ou raios de luz foi absolutamente indiferente e permitiu estabelecer as leis da reflexão por Arquimedes (287 a.C. – 212 a.C) e Heron (10 d.C – 70 d. C) e as leis da refração por Ptolomeu (90 d.C – 168 d.C).

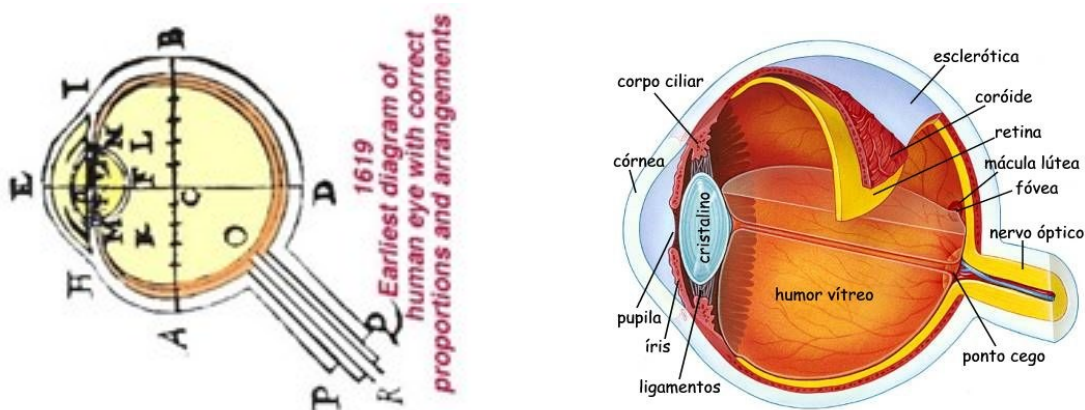


Figura 5 Representação esquemática do olho humano segundo Galeno (esquerda) e atual representação encontrada inserindo “olho humano” no *google*.

Galeno, médico grego do século II da Era Cristã acumulou uma vasta experiência em realizar cirurgias em humanos. Aparentemente foi o primeiro a estabelecer a estrutura anatómica correta do olho humano (Fig.5), identificando as suas componentes corretamente e nas devidas proporções. O estudo anatómico do olho permitiu-lhe descobrir a ligação nervosa entre a retina e o cérebro, incluindo assim pela primeira vez

este órgão no processo de visão. O cérebro passou a ser o lugar onde a percepção da visão ocorre.

[Podemos perguntar-nos por que motivo Euclides optou pela teoria da emanção. Tudo indica (e.g. Andreou & Raftapoulos 2010) que o tivesse feito para que pudesse explicar a visão de objetos não luminosos. Também Cláudio Ptolomeu favoreceu a teoria da emanção... Conceção holística da transmissão de um objeto por completo colocava problemas à teoria da intromissão. Isto foi ultrapassado pelos árabes.]

Edward Grant (1996) oferece-nos uma narrativa muito convincente sobre a assimilação, reconstrução e transmissão do conhecimento dos Antigos pelos comentadores medievais

Século II a.C. a VIII d.C.

Contribuição da Ciência Islâmica medieval para a ótica

Al-Kindi no século IX e Ibn al-Haytham no século XI, conhecido na cristandade por Alhazen (965-1038), grande filósofo, matemático e astrónomo árabe, deram passos fundamentais para o entendimento da visão. Trabalhando sobre as teorias dos Antigos, que conheciam por traduções para árabe de comentários realizados nos primeiros séculos da Era Cristã. Al-Kindi (801-866) estabeleceu o princípio de que cada ponto de uma fonte de luz emite raios de luz em todas as direções possíveis. Numa extensão deste princípio, al-Haytham (Alhazen) afirmou que o mesmo acontecia a todos os objetos, fontes ou refletoras de luz.

Este princípio, não contraria a lei da reflexão, pois Alhazen refere-se a objetos não espelhados.

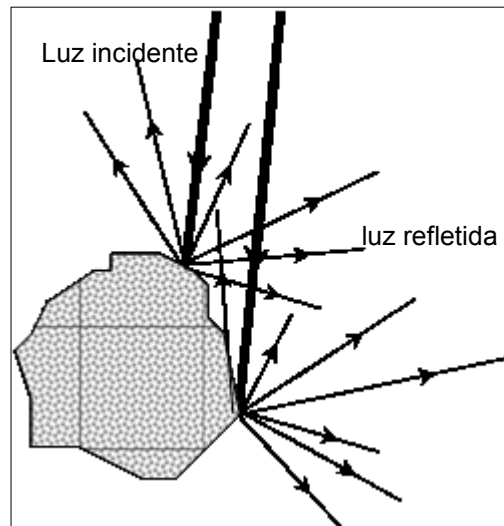


Figura 6 Ilustração do princípio segundo o qual cada ponto de um objeto rugoso reflete luz em todas as direções. (Devido a Al-Kindi e a Alhazen)

De facto a lei da reflexão é sempre válida, qualquer que seja a superfície, rugosa ou espelhada. Mas numa superfície rugosa (Fig.6), cada pequena área de superfície recebe uma quantidade muito grande de raios de luz (na teoria de Alhazen) que incidem em pontos ligeiramente diferentes, provocando reflexão em todas as direções.

Ao levar a sério o conceito de raio luminoso e ao adotar a teoria da receção, afirmando que a nossa visão deve-se à entrada de raios de luz nos olhos, Alhazen contribuiu decisivamente para que o entendimento dos fenómenos óticos pudesse avançar consideravelmente.

Raciocinando sobre a dificuldade sentida em olhar diretamente para uma fonte luminosa intensa, Alhazen estabeleceu definitivamente o sentido da luz como sendo do objeto (fonte de luz ou refletor) para o olho, e não o contrário.

Mas Alhazen foi mais longe. Baseando-se nos resultados já estabelecidos por Euclides, Heron, Arquimedes e Aristóteles, entre vários outros e por ele conhecidos da propagação retilínea da luz, explicou a imagem **B** do objeto **A**, que se obtêm, por exemplo, na câmara obscura (Fig. 7), fazendo uso de duas proposições:

1. Cada ponto de um objeto iluminado emite luz em todas as direções;
2. Raios de luz propagam-se em linhas retas.

Assim, cada ponto do objeto **A** emite luz em todas as direções mas apenas uma fração dessa luz entra pelo orifício da câmara obscura, originando um ponto de luz que é a imagem desse ponto.

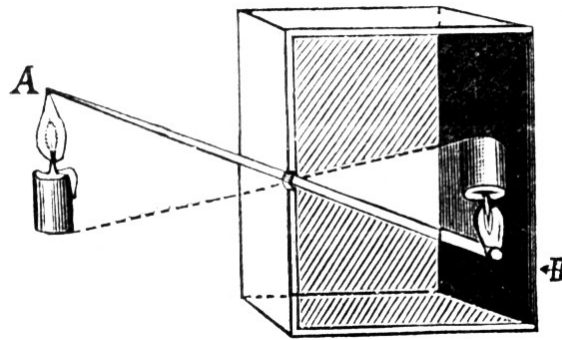


Figura 7. Representação esquemática da câmara obscura. Objeto **A**, e imagem **B**. Cada ponto da imagem corresponde um ponto do objeto, e é formado pela propagação do raio de luz desse mesmo ponto.

O conjunto de todos os pontos de luz na parede da câmara obscura é a imagem! Assim a imagem não viaja no espaço como um todo de modo a ser vista: é suficiente que cada ponto do objeto provoque um foco de luz dentro da câmara obscura. Todos os pontos de luz na parede da Câmara originam uma área iluminada que se apresentam como uma réplica do objecto: a imagem ótica.

Mas Alhazen não foi capaz de explicar a formação da imagem pela visão. Vejamos porquê. Ele perguntou-se: se cada ponto do objecto emite uma imensidade de raios de luz, como é possível não causar uma espécie de “caos” na nossa percepção do objecto? Assim Alhazen teve que pensar num mecanismo de seleção dos raios que causam a visão.

Conhecedor do fenómeno da refração pelos trabalhos de Ptolemeu (mudança de direção de raios de luz quando entram num outro meio transparente. Ptolomeu, como vimos estudou este fenómeno quantitativamente), Alhazen sabia que todos os raios mudavam de direção exceto os que entram perpendicularmente ao globo ocular. Assim, Alhazen *selecionou* esses raios como os que, entrando no olho pela córnea (superfície convexa), continuavam em direção à lente cristalina, sendo que todos os outros raios de luz não chegavam à lente. E seria na própria lente que a imagem seria formada.



Figura 8 Capa do Tratado de Witelo, publicado em Basileia em 1572. Foi largamente baseado no trabalho de Alhazen.

Porque parou Alhazen na superfície convexa da lente dizendo que seria aí que a imagem era formada?

Olhemos para a imagem na câmara obscura (Fig.7). Ela aparece invertida relativamente ao objeto. Ora nós percebemos a imagem direita através da visão. Este fato, em conjunto com a ideia errada de que a formação da imagem se processa por uma “transferência” através de raios de luz de cada ponto do objeto para cada ponto da imagem na superfície da lente ocular, ou seja, a cada ponto da imagem, corresponde um ponto do objeto e um único raio

de luz está na origem da incapacidade de Alhazen ir mais longe na explicação da visão.

O tratado ótico de Alhazen, *Kitab al-manazir* (Perspetiva) tornou-se muito influente, chegando aos estudiosos do Ocidente no século XIII. Esta obra estimulou os estudos de ótica, influenciando diretamente Witelo, ou Vitello, um estudioso polaco do século XIII e início do século XIV que estudou na Universidade de Pádua por volta de 1260 e cuja obra *Perspetiva* (Fig. 8) influenciou directamente o estudo da perspetiva bem como autores posteriores dos séculos XVI e XVII, nomeadamente Johannes Kepler (1571-1630). Também Roger Bacon (c. 1214 – 1294) na Universidade de Oxford, Inglaterra e John Peckham (ou Pecham) (c. 1230 –1292) que estudou em Paris e foi mais tarde professor em Oxford tiveram contacto com os trabalhos de Alhazen.

Deste modo os trabalhos de Alhazen e a disseminação dos mesmos na Europa fizeram com que os seus estudos de ótica perdurassem mais de três séculos e que sobre os mesmos, novos e mais completos estudos nesta área do conhecimento se desenvolvessem.

Os maiores argumentos contra o mecanismo da visão proposto por Alhazen e Witelo foi o facto de ele apenas considerar os raios que entram no globo ocular perpendicularmente. E os que estão muito próximos? O que lhes acontecia? Pode a Natureza ser tão selectiva em preferir uns raios em relação a outros que lhe são adjacentes? Estas questões continuaram a preocupar os estudiosos.

O início da Ciência Moderna

Na Itália renascentista do século XV, um conjunto de pintores, arquitetos e outros artistas como Filippo Brunelleschi (1377 – 1446) e Leon Battista Alberti (1404 – 1472) estudavam a perspectiva de modo utilitário, mas eram conhecedores dos debates em torno da visão e da ótica. Alberti escreve o seguinte:” Entre os antigos, a disputa sobre se os raios [de luz] provêm do olho ou do plano não é pouca. Esta disputa é inteiramente inútil para nós. (...) Nem este é o lugar para discutir se a visão, como é chamada, reside na junção do nervo interior ou se as imagens são formadas na superfície do olho como um espelho vivo.” (Galili 2010).

Assim mostra um conhecimento claro das teorias óticas até então desenvolvidas e das controvérsias associadas. Por um lado refere explicitamente o princípio da reversibilidade dos raios de luz, que Arquimedes já tinha como certo, por outro lado, ainda que indiretamente, fala dos problemas não resolvidos por Alhazen.

Outros contributos renascentistas para os estudos óticos vieram de Francesco Maurolico (1494- 1575), que foi professor em Messina, Itália. Maurolico salientou o papel da lente cristalina interior ao globo ocular, salientando que uma lente biconvexa faz convergir os raios de luz. Este efeito produzido pela lente cristalina do globo ocular é semelhante, apontou Maurolico à função dos óculos para corrigir a dificuldade em ver ao longe (hipermetromismo). No entanto Maurolico também não foi muito mais além do que Alhazen cinco séculos antes.

Foi durante a Revolução Científica dos séculos XVI, XVII e XVIII, que marca o nascimento da ciência moderna, que avanços decisivos na compreensão da ótica tiveram lugar.

Johannes Kepler (1571-1630), nasceu na Alemanha, perto da atual cidade de Estugarda. Foi um dos maiores matemáticos de sempre, também tendo sido astrónomo, astrólogo, estudou na Universidade de Tübingen, depois professor em Graz na Áustria até que encontrou Tycho Brae (1546 – 1601) em Praga no ano de 1600, onde Tycho estava a montar um novo observatório. Este encontro seria muito importante para o desenvolvimento posterior da Astronomia, já que Tycho Brae foi o maior astrónomo antes da invenção e uso do telescópio, realizando observações com enorme precisão. Esta precisão, juntamente com a crença de Kepler nas capacidades de Tycho como astrónomo levaram a novos caminhos na Astronomia que se revelaram extremamente férteis.

Podemo-nos perguntar se a confiança de Kepler na precisão dos dados astronómicos de Tycho é uma característica da Ciência. Em geral não será. A desconfiança e o ceticismo são mais frequentes e profícuos.

Contribuição de Kepler para a ótica

Em primeira instância para explicar a visão, Kepler estabeleceu que a construção de uma imagem ótica era comparada com o modo como uma imagem é construída por uma lente biconvexa. Assim, reconsiderou o papel do raio de luz. Para Kepler o raio de luz não era uma entidade física real mas uma *representação* do fluxo de luz, sendo o campo visual “linhas [de luz] infinitas em número provindas de cada ponto”. Esta concepção constitui-se como essencial já que em lugar de explicar a formação de imagem em termos de raio de luz, passou-se a poder fazer o mesmo em termos de luz, ou de fluxo de luz: cada ponto de um objeto banha por completo o olho com luz, formando-se um cone de luz com vértice sobre nesse mesmo ponto e base na superfície ocular.

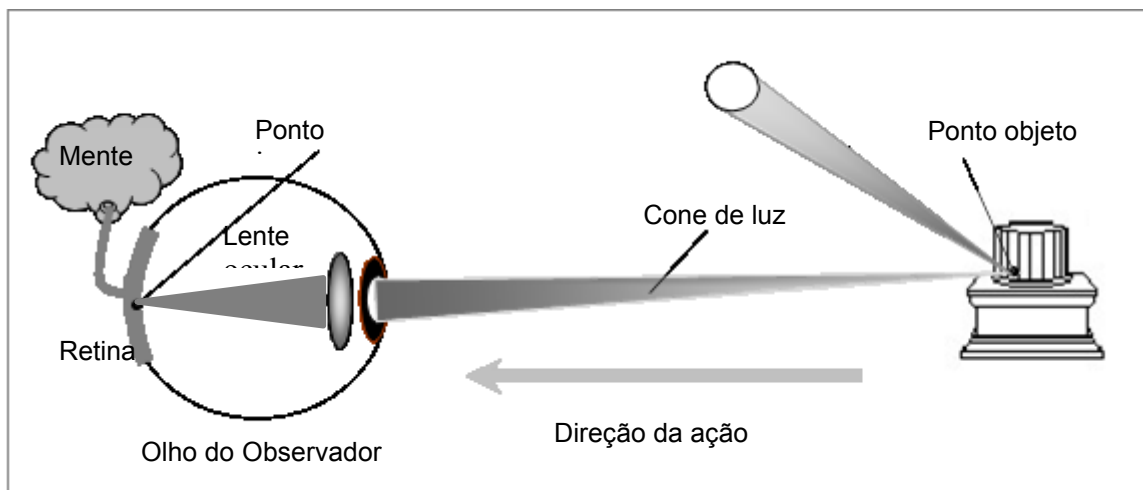


Figura 9 Representação esquemática da solução de Kepler para o problema da visão. O cérebro interpreta a imagem invertida obtida na retina do olho do observador. Para que ver seja possível, é necessária uma fonte de luz, ou um corpo luminoso, e um observador.

No quadro desta concepção, Kepler rejeitou a ideia de qualquer transferência da imagem através do espaço, rompendo com a concepção Atomista da “eidola” (imagem), com a transferência por um distúrbio do meio (Aristóteles). Mesmo no quadro de Alhazen que decompôs a eidolon (imagem ótica) em pontos transferidos por raios relevantes, num certo sentido a imagem ainda pode, nesta concepção ser imaginada como estando a ser transferida.

O raio de luz passou assim por uma transformação radical: de elemento essencial à visão, de um “átomo de luz” passou a constituir uma ferramenta auxiliar, uma representação.

Anexos

Anexo A

Tabela 1

Aspectos pertencentes ao Esquema da visão espontânea (ver acontece naturalmente como resultado da presença do olho.)

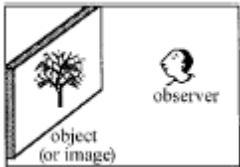
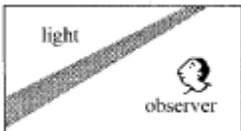
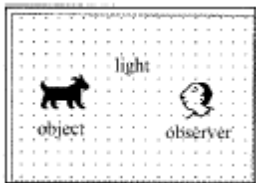
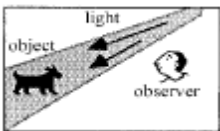
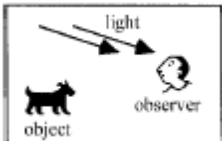
#	Aspeto do conhecimento
1-1	Em esquemas e diagramas apoiados por explicações, não é realizada nenhuma referência a ligação/relação entre o olho e a imagem ou objeto observado. 
1-2	Não é feita, nas descrições e esquemas descrevendo o processo de visão, uma referência a uma relação física entre o olho que observa e o objeto observado.
1-3	Para ver um objeto 'focamos' os olhos nele, prestamos atenção ao objeto, olhamos para ele.
1-4	O objetos são observados apenas se estão localizados no campo de visão do observador e não são tapados.
1-5	A luz pode ser vista de lado desde que nada bloqueie a visão. 
1-6	A luz é um plano de fundo de ajuda à visão. 
1-7	A luz é necessária para iluminar o objeto de modo a que ele possa ser visto pelo olho. 
1-8	A luz é necessária para iluminar os olhos, permitindo desse modo o seu funcionamento. 

Tabela 2

Aspetos pertencentes aos Esquema corpóreo da luz (luz é reificada).

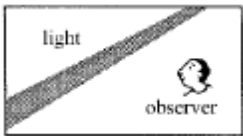
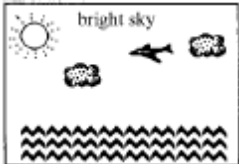
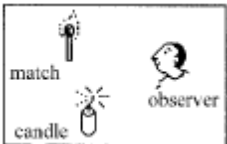
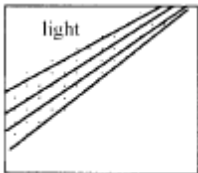
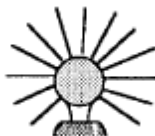
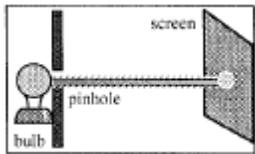
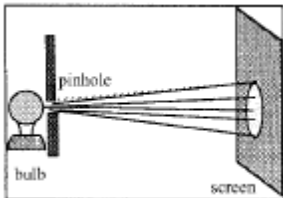
#	Aspeto do conhecimento
2-1	A luz é brilhante, logo é melhor vista no escuro.
2-2	A luz pode ser vista de lado desde que nada bloqueie a visão. 
2-3	A luz preenche o espaço e permanece estacionária (assim, o céu é brilhante). 
2-4	A luz permanece como uma auréola à volta da fonte de luz (vela, fósforo, lâmpada, etc.). 
2-5	A luz é composta de raios de luz (em grande quantidade ou em número infinito) que preenchem o espaço. 
2-6	Os raios de luz assemelham-se a fibras de uma corda.
2-7	Os raios de luz espalham-se e iluminam o espaço ou as superfícies.
2-8	Ao entrar numa lente ou prisma os raios de luz quebram-se ou dobram e desviam-se do seu percurso em linha reta.
2-9	A distância percorrida pela luz aumenta com a intensidade da fonte.

Tabela 3

Aspetos pertencentes ao Esquema da luz-lanterna (raios individuais são emitidos de cada ponto da fonte de luz)

#	Aspeto do conhecimento
3-1	A luz viaja em linha reta (representada por linhas ordenadas e desordenadas em desenhos)
3-2	Quando é indicada luz a ser emitida de uma fonte de luz, são representadas linhas retas que saem radialmente da fonte. Cada raio sai de um ponto da fonte.
	
3-3	Luz passando através de uma pequena abertura tem a forma de um feixe cilíndrico.
	
3-4	Luz passando através de uma pequena abertura tem a forma de um feixe cónico que se abre (espalha) gradualmente em direção ao ecrã.
	
3-5	O tamanho da zona iluminada no ecrã aumenta com a distância da lâmpada à abertura
3-6	A zona iluminada no ecrã tem a mesma forma da abertura colocada entre a placa e a fonte.
3-7	São usados raios de luz que divergem da fonte de luz para prever uma imagem produzida por uma lente num ecrã.
3-8	É ignorada toda a luz que diverge de uma lâmpada

)

Tabela 4

Aspectos pertencentes ao Esquema holístico da imagem (uma imagem é uma réplica corpórea de um objeto. Pode-se mover, manter-se no mesmo lugar ou rodar)

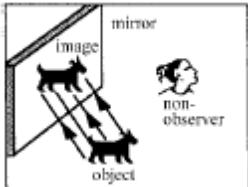
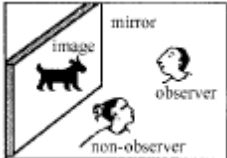
#	Aspeto do conhecimento
4-1	Uma imagem move-se do objeto em direção ao espelho, onde permanece (o observador não é envolvido).
	
4-2	A imagem está sempre presente no espelho, seja ou não observada. (Ainda que não a possas ver, outros podem)
	
4-3	As imagens são em primeiro lugar criadas por um material especial, entre os quais o espelho. Depois olhamos para o espelho e vemos-as.
4-4	Quando não vemos uma imagem no espelho é porque não está no nosso campo de visão. (Mas ela continua a existir e qualquer outra pessoa pode vê-la.)
4-5	Os espelhos duplicam ("refletem") os objetos através da criação de imagens. A luz pode ajudar (por estimulação ou iluminação).
4-6	A imagem viaja em direção ao espelho e volta para trás (é refletido por ele).
4-7	A imagem atinge o espelho e é refletida por ele com um ângulo igual ao de incidência.
4-8	Obstáculos no caminho impedem a imagem de atingir o espelho.
4-9	O espelho inverte a imagem da direita para esquerda.
4-10	Uma lente faz com que a imagem fique invertida.
4-11	Metade de uma lente produz metade de uma imagem. O restante é bloqueado.
4-12	Se a tela é afastada ou aproximada da lente, a imagem torna-se menor ou maior mas permanece nítida.
4-13	Quando uma lente convergente é retirada, uma imagem direita substitui a imagem invertida.
4-14	Não vemos luz mas sim imagens. (Para ver uma imagem, ela tem de entrar no olho.)
4-15	Um prisma triangular divide a imagem em dois.
4-16	As imagens são criadas (independentemente da montagem), logo podem ser sempre obtidas numa tela.
4-17	A luz não cria imagens, apenas nos ajuda a vê-las.

Tabela 5

Aspetos pertencentes ao Esquema da Imagem projetada (cada ponto-imagem está relacionada com o seu correspondente ponto-objeto por um único raio de luz.)

#	Aspeto do conhecimento
5-1	Uma lente convergente força raios de luz a passar através do seu centro e assim é obtida uma imagem invertida.
5-2	Raios de luz transportam uma imagem para a lente. A lente curva os raios fazendo com que eles se cruzem no seu foco e assim a imagem é invertida.
5-3	Raios de luz transportam uma imagem para o espelho. A imagem é então refletida (volta para trás) com um ângulo igual ao ângulo de incidência.
5-4	Quando metade de uma lente é coberta, metade dos raios de luz do objeto são bloqueados, assim apenas metade da sua imagem surge
5-5	Um prisma triangular cria duas imagens através da divisão dos raios de luz.
5-6	Um espelho côncavo cria uma imagem invertida pois inverte a disposição dos raios de luz.

Tabela 6

Aspetos pertencentes ao Esquema Sombra como imagem projetada (uma sombra é uma espécie de imagem separada do objeto.)

#	Aspeto do conhecimento
6-1	Um corpo dá a sua forma à sombra que suscita.
6-2	A forma de uma sombra não depende da forma da fonte de luz.
6-3	Uma sombra é uma “reflexão” (reprodução) de um objeto.
6-4	Existe sempre uma sombra e a luz faz com que ela se torne visível.
6-5	Uma sombra é independente após ‘deixar’ o objeto.
6-6	A luz desencadeia a produção de uma sombra por um objeto.
6-7	Sombras de objetos podem ser manipulados (como um todo) – adicionadas ou subtraídas – para prever ou explicar os padrões de sombra formados.
6-8	Não são previstas sombras parciais (penumbras)
6-9	Nos desenhos as sombras estão orientadas aleatoriamente em relação às fontes de luz.
6-10	O surgimento de sombra não está relacionado com o bloqueio da luz.
6-11	Existe uma ausência de correlação nos desenhos dos alunos entre a distribuição de luz, o tamanho e posição de um objeto e a sua sombra.

Tabela 7

Aspectos pertencentes ao Esquema Sombra-envolvência (sombra depende do ambiente.)

#	Aspeto do conhecimento
7-1	Quanto mais forte a fonte de luz, maior a sombra.
7-2	Uma fonte pontual de luz cria uma sombra não definida.
7-3	Quanto maior a fonte de luz, menor a sombra.
7-4	A sombra de um corpo depende da localização da fonte de luz e do objeto.
7-5	Uma fonte de luz inclinada provoca uma sombra oblíqua.
7-6	Quanto maior a distância da parede ao objeto, maior a sombra.

Tabela 8

Aspectos pertencentes ao Esquema Cor-pigmento (cor é diferente de luz).

#	Aspeto do conhecimento
8-1	A cor resulta de uma mistura de substâncias especiais diferentes de luz.
8-2	Quando combinadas, luzes de várias cores permanecem separadas.
8-3	Uma mistura de luzes coloridas resulta numa luz mais escura.
8-4	Cada cor numa mistura é detetada separadamente.
8-5	Numa mistura de cores, a mais forte prevalece.
8-6	Luzes coloridas misturam-se como diferentes líquidos.
8-7	Luz branca é sempre brilhante e sem cor.
8-8	As cores são produzidas por diferentes graus de luminosidade.

Tabela 9

Esquemas organizadores das explicações elaboradas pelos alunos relativos ao domínio da ótica.

#	Nome e descrição dos Esquemas do conhecimento
A	Esquema da visão espontânea (ver acontece naturalmente como resultado da presença do olho.)
B	Esquema corpóreo da luz (luz é reificada).
C	Esquema da luz-lanterna (raios individuais são emitidos de cada ponto da fonte de luz)
D	Esquema holístico da imagem (uma imagem é uma réplica corpórea de um objeto. Pode-se mover, manter-se no mesmo lugar ou rodar)
E	Imagem projetada (cada ponto-imagem está relacionada com o seu correspondente ponto-objeto por um único raio de luz.)
F	Sombra como imagem projetada (uma sombra é uma espécie de imagem separada do objeto.)
G	Sombra-envolvência (sombra depende do ambiente.)
H	Cor-pigmento (cor é diferente de luz).

Anexo B

Tabela 1

Plano de XXX (Física e Química) - 2º ano de Educação Básica - 2008/09

Semana	Aulas teóricas	Aulas Práticas
1. ^a	Apresentação: XXXXXXX Iniciar pelo tema luz (se não for possível concluir passa para a aula seguinte): Como vemos? Discutir o percurso da luz quando vemos. Será possível ver no escuro? Distinguir entre corpos luminosos e iluminados; Será que a luz atravessa os objetos? Quais? Distinguir entre corpos opacos, translúcidos e transparentes (distinguir entre transparente e incolor); relativamente à definição de translúcido importa acentuar a impossibilidade de identificar o que está para lá do objeto, embora se veja luz. Referir a propagação retilínea da luz e como consequência a sombra Distinguir entre fontes luminosas pontuais e extensas; as fontes extensas (ou múltiplas fontes) produzem sombra e penumbra. Reflexão: Definir raio luminoso e a sua representação.  Quando a luz atinge uma superfície que separa dois meios óticos (meios transparentes, por exemplo ar, água ou vidro), é refletida. Apresentar as leis da reflexão; Distinguir a reflexão regular da difusa, representando uma ampliação da superfície irregular de um material que difunde a luz e representando vários raios a refletirem de acordo com as leis da reflexão nessa superfície e numa superfície perfeitamente lisa; Dar exemplos do quotidiano. <u>Formação de imagens em espelhos:</u> Começar por explicar que só há imagem quando, para cada ponto do objeto, os raios luminosos que saem desse ponto se voltam a juntar, formando um ponto da imagem; mostrar esquema. Explicar depois (e mostrar esquematicamente) como se pode construir teoricamente as imagens em espelhos planos e esféricos (côncavos e convexos). Explicitar as características das imagens nas várias situações: real ou virtual; menor, igual ou maior do que o objeto; direita ou invertida. Referir a existência de outros espelhos curvos: cilíndricos, elipsoidais,... onde as imagens ficam deformadas (ex: espelhos de “casa dos espelhos”).	Colocar a questão-problema: porque vemos os objetos? Deixar os alunos pensar uns minutos. Propor a atividade: corpos luminosos e iluminados com caixa de sapatos, objeto e lanterna. Propor que explorem a diferença entre corpos opacos, translúcidos e transparentes, usando os materiais do kit da formação contínua (distinguir entre transparente e incolor). <u>Demonstração:</u> - Propagação retilínea (com caixa de ótica e LASER); - Observação de sombras (e penumbras) com uma fonte extensa (se possível, também ao sol). Todos os alunos devem efetuar registos rigorosos das suas observações; incentivar os alunos a fazê-lo, explicando a importância de o fazerem. XXXXXXXXXX
2. ^a	Refração: Mostrar um copo com água e uma palhinha no seu interior; perguntar o que se passa.	Formação de imagens em espelhos planos e esféricos côncavos e convexos;

Semana	Aulas teóricas	Aulas Práticas
	Explicar a refração do ponto de vista qualitativo e representar esquematicamente: - Quando a luz passa de um meio ótico menos denso para outro mais denso, aproxima-se na normal ao plano de incidência; - Quando a luz passa de um meio ótico mais denso para outro menos denso, afasta-se na normal ao plano de incidência; Explicar, com base num esquema, que quando há refração há quase sempre reflexão. Explicar o fenómeno da reflexão total. Dar exemplos do quotidiano. <u>Formação de imagens em lentes:</u> Explicar que se pode usar a mesma metodologia que se utilizou para os espelhos. Explicar depois (e mostrar esquematicamente) como se pode construir teoricamente as imagens em lentes esféricas (convergentes e divergentes). Explicitar as características das imagens em lentes convergentes e divergentes nas várias situações: real ou virtual; menor, igual ou maior do que o objeto; direita ou invertida. Referir a existência de outros tipos de lentes: cilíndricas, ... onde as imagens ficam deformadas (ex: lentes que corrigem o problema de visão astigmatismo). Dualidade onda-partícula: Ondas eletromagnéticas: amplitude, velocidade, comprimento de onda e frequência; Espectro eletromagnético: tipos de radiação eletromagnética e exemplos de aplicação ou de situações da natureza ou do quotidiano; Mostrar a dispersão da luz no prisma (triangular) de vidro (com o retroprojektor ou com a luz solar); explicação da dispersão devido ao ângulo de refração variar com o comprimento de onda; explicação simplista do arco-íris, referindo (e mostrando) as refrações da luz no interior das gotas de água que têm forma esférica. Explicação da cor dos objetos iluminados.	(Pedir aos alunos para trazerem espelhos de maquilhagem, concha de servir sopa, ...) Demonstração pelo professor: Formação de imagens em lentes convergentes e divergentes. XXXXXXXXXX

Anexo C

Consentimento informado

O projeto de investigação em curso tem como objetivo desenvolver processos que levem a melhores aprendizagens.

Para a sua prossecução pretendo realizar gravações vídeo e/ou audio de algumas das aulas ou atividades bem como, eventualmente, entrevistas individuais ou em grupo.

- Em toda a informação recolhida a confidencialidade dos participantes será garantida;
- Nenhum aluno será beneficiado ou prejudicado por aceitar ou recusar participar no estudo;
- Em qualquer momento do processo, se algum aluno sentir que deseja alterar a decisão tomada, é livre de o fazer.

Eu, _____(Nome), com o número de estudante _____, li, compreendo e aceito as condições acima mencionadas.

(Assinatura)

Referências Bibliográficas

- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., ... Tuan, H. -I. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397–419. doi:10.1002/sce.10118
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665–701. doi:10.1080/09500690050044044
- Adamson, P. (2011). Al-Kindi. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford University. Retrieved from <http://plato.stanford.edu/archives/spr2011/entries/al-kindi/>
- Adelman, C. (1993). Kurt Lewin and the Origins of Action Research. *Educational Action Research*, 1(1), 7–24. doi:10.1080/0965079930010102
- Afonso, M. (2008). *A educação científica no 1º ciclo do ensino básico: das teorias às práticas*. Porto: Porto Editora.
- Aikenhead, G. (1994a). The Social Contract of Science: Implications for Teaching Science. In J. Solomon & G. Aikenhead (Eds.), *STS Education: International Perspectives on Reform* (pp. 47–59). New York, NY: Teachers College Press.
- Aikenhead, G. (1994b). What is STS Science Teaching? In J. Solomon & G. Aikenhead (Eds.), *STS Education: International Perspectives on Reform* (pp. 47–59). New York, NY: Teachers College Press.
- Aikenhead, G. S. (1996). Science Education: Border Crossing into the Subculture of Science. *Studies in Science Education*, 27(1), 1–52.
- Aikenhead, G. S. (1998). Border Crossing: Culture, School Science, and Assimilation of Students. In D. A. Roberts & L. Ostman (Eds.), *Problems of Meaning in Science Curriculum* (pp. 86–100). New York, NY: Teachers College Press.
- Aikenhead, G. S. (2007). Humanistic perspectives in the science curricula. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research in Science Education* (pp. 881–910). New York, NY: Routledge.
- Alarcão, I. (1996a). Reflexão Crítica Sobre o Pensamento de D. Shon e os Programas de Formação de Professores. In I. Alarcão (Ed.), *Formação Reflexiva de Professores: Estratégias de Supervisão* (pp. 9–40). Porto: Porto Editora.
- Alarcão, I. (1996b). Ser Professor Reflexivo. In I. Alarcão (Ed.), *Formação Reflexiva de Professores: Estratégias de Supervisão* (pp. 171–189). Porto: Porto Editora.
- Alarcão, I. (2001). Professor-investigador: Que sentido? Que formação? *Cadernos de Formação de Professores*, 1(1), 21–30. Retrieved from <http://www.educ.fc.ul.pt/docentes/jponte/sd/textos/alarcao01.pdf>
- Alexander, P. A., & Judy, J. E. (1988). The Interaction of Domain-Specific and Strategic Knowledge in Academic Performance. *Review of Educational Research*, 58(4), 375–404.

- Alexander, P. A., Schallert, D. L., & Hare, V. C. (1991). Coming to Terms: How Researchers in Learning and Literacy Talk About Knowledge. *Review of Educational Research*, 61(3), 315–343. doi:10.3102/00346543061003315
- Allchin, D. (1992). Teaching Science through History. *History as a Tool in Science Education*. Kington, Ontário. Retrieved from <https://www1.umn.edu/ships/tool.htm>
- Allchin, D. (2003). Scientific myth-conceptions. *Science Education*, 87(3), 329–351. doi:10.1002/sce.10055
- Allchin, D. (2013). *Teaching the Nature of Science: Perspectives & Resources*. Saint Paul, MN: SHiPS Education Press.
- Almeida, P., Figueiredo, O., & Galvão, C. (2012). A Argumentação em Tarefas de Manuais Escolares Portugueses e Biologia e de Geologia. *Investigações Em Ensino de Ciências*, V17(3), 571–591.
- Alonso, M., & Finn, E. J. (1992). *Physics*. Harlow: Addison-Wesley.
- Althusser, L. (1990). *Philosophy and the Spontaneous Philosophy of the Scientists*. London: Verso Books.
- Alves, V., & Morais, A. M. (2013). Currículo e práticas pedagógicas — Uma análise sociológica de textos e contextos da educação em ciências. *Revista Portuguesa de Educação*, 26(1), 219–251.
- Amador, F. (2010). Contribuições da História da Ciência para os Processos de Desenho Curricular. *Revista Da Educação*, VII(1), 9–30.
- Anderson, C. W., & Smith, E. L. (1986). *Children's Conceptions of Light and Color: Understanding the Role of Unseen Rays*. Research Series n. 166 (pp. 1–31). East Lansing, MI: Michigan State University.
- Anderson, R. D. (2007). Inquiry as an Organizing Theme for Science Curricula. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 807–830). New York, NY: Routledge.
- Andersson, B., & Bach, F. (2005). On designing and evaluating teaching sequences taking geometrical optics as an example. *Science Education*, 89(2), 196–218. doi:10.1002/sce.20044
- Andersson, B., & Kärrqvist, C. (1983). How Swedish pupils, aged 12-15 years, understand light and its properties. *European Journal of Science Education*, 5(4), 387–402. doi:10.1080/0140528830050403
- Angrosino, M. V., & de Pérez, K. M. (2000). Rethinking Observation: From Method to Context. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of Qualitative Research* (2nd ed., pp. 673–702). Thousand Oakes, CA: SAGE Publications.
- Arapaki, X., & Koliopoulos, D. (2011). Popularization and Teaching of the Relationship Between Visual Arts and Natural Sciences: Historical, Philosophical and Didactical

- Dimensions of the Problem. *Science & Education*, 20, 797–803.
doi:10.1007/s11191-010-9263-x
- Aristóteles. (2013). *Meteorology*. (E. W. Webster, Trans.). Adelaide: The University of Adelaide. Retrieved from
<http://ebooks.adelaide.edu.au/a/aristotle/meteorology/index.html>
- Assis, A. K. T. (2010). *The Experimental and Historical Foundations of Electricity*. Montreal: C. Roy Keys Inc.
- Ausubel, D. P. (2000). *The Acquisition and Retention of Knowledge - A Cognitive View*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Baird, D. (2004). *Thing Knowledge: A Philosophy of Scientific Instruments*. London: University of California Press.
- Baldasso, R. (2006). The Role of Visual Representation in the Scientific Revolution: A Historiographic Inquiry. *Centaurus*, 48, 69–88. doi:10.1111/j.1600-0498.2006.00042.x
- Bardin, L. (2007). *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70.
- Barrow, L. H. (2006). A Brief History of Inquiry: From Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17(1), 265–278. doi:10.1007/s10972-006-9008-5
- Bell, R. L., Lederman, N. G., & Abd-El-Khalick, F. (1998). Implicit versus explicit nature of science instruction: An explicit response to Palmquist and Finley. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(1), 1057–1061. doi:10.1002/(SICI)1098-2736(199811)35:9<1057::AID-TEA6>3.0.CO;2-C
- Bell, T., Urhahne, D., Schanze, S., & Ploetzner, R. (2010). Collaborative Inquiry Learning: Models, tools, and challenges. *International Journal of Science Education*, 32(3), 349–377. doi:10.1080/09500690802582241
- Benavot, A., Cha, Y., Kamens, D., Meyer, J. W., & Wong, S.-Y. (1991). Knowledge for the Masses: World Models and National Curricula, 1920-1986. *American Sociological Review*, 56(1), 85–100.
- Bendall, S., Goldberg, F., & Galili, I. (1993). Prospective Elementary Teachers' Prior Knowledge about Light. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9), 1169–1187.
- Biagioli, M. (2005). *Galileu cortesão. A prática da ciência na cultura do Absolutismo*. Porto: Porto Editora.
- Bogdan, R. C., & Bilken, S. K. (1992). *Qualitative Research: An Introduction to Theory and Methods* (2nd ed.). Needham Heights, MA: Allyn and Bacon.
- Born, M., & Wolf, E. (1980). *Principles of Optics* (6th ed.). Oxford: Pergamon Press.
- Bouwens, R. E. A. (1987). Misconceptions among pupils regarding geometrical optics. In J. D. Novak (Ed.), *Proceedings of the Second International Seminar on*

- Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics* (pp. 59–86). Ithaca, NY: Cornell University.
- Boyer, C. (1950). Kepler's explanation of the rainbow. In *Use of Historic Material in Elementary and Advanced Instruction*. New York, NY: American Association of Physics Teachers.
- Brickhouse, N. W. (1994). Children's observations, ideas, and the development of classroom theories about light. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), 639–656. doi:10.1002/tea.3660310606
- Brickhouse, N. W., & Stanley, W. B. (1995). Response to Good. *Science Education*, 79(3), 337–339. doi:10.1002/sce.3730790308
- Brown, P. L., Abell, S. K., Demir, A., & Schmidt, F. J. (2006). College science teachers' views of classroom inquiry. *Science Education*, 90(5), 784–802. doi:10.1002/sce.20151
- Brown, T., & Jones, L. (2001). *Action Research and Postmodernism: Congruence and critique*. Philadelphia, PA: Open University Press.
- Buchberger, F., Campos, B. P., Kallos, D., & Stephenson, J. (2000). *Green paper on teacher education in Europe*. Umea.
- Bunterm, T., Lee, K., Kong, J. N. L., Srikoorn, S., Vangpoomyai, P., Rattanaovongsa, J., & Rachahoon, G. (2014). Do Different Levels of Inquiry Lead to Different Learning Outcomes? A comparison between guided and structured inquiry. *International Journal of Science Education*, 36(12), 1937–1959. doi:10.1080/09500693.2014.886347
- Burton, D., & Bartlett, S. (2005). *Practitioner Research for Teachers*. London: Paul Chapman Publishing.
- Bybee, R. W. (1997). *Achieving Scientific Literacy - From Purposes to Practices*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Cachapuz, A., Paia, J., Gil-Pérez, D., Carrascosa, J., & Martínez-Terrades, I. (2001). A emergência da didática das ciências como campo específico de conhecimento. *Revista Portuguesa de Educação*, 14(1), 165–195.
- Cachapuz, A., Praia, J., & Jorge, M. (2002). *Ciência, educação em ciência e ensino das ciências*. Lisboa: Ministério da Educação.
- Canavarro, J. M. (1999). *Ciência e Sociedade*. Coimbra: Quarteto Editora.
- Cantor, G. N. (1983). *Optics after Newton: Theories of Light in Britain and Ireland, 1704-1840*. Manchester: Manchester University Press.
- Carey, S. (1985). Are children fundamentally different kinds of thinkers and learners than adults? In J. W. Segal, S. F. Chipman, & R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills* (pp. 485–517). New Jersey: Lawrence Erlbaum.

- Carey, S. (2009). *The origin of concepts*. New York, NY: Oxford University Press.
- Carey, S., & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist*, 28(3), 235–251.
- Carr, W. (2006). Philosophy, Methodology and Action Research. *Journal of Philosophy of Education*, 40(4), 421–435.
- Carr, W. (2007). Educational research as a practical science. *International Journal of Research & Method in Education*, 30(3), 271–286.
doi:10.1080/17437270701614774
- Carr, W., & Kemmis, S. (1986). *Becoming Critical: Education, Knowledge and Action Research*. London: Routledge Falmer.
- Carr, W., & Kemmis, S. (2009). Educational action research: A critical approach. In S. Noffke & B. Somek (Eds.), *The Sage Handbook of Educational Action Research* (pp. 74–84). Thousand Oakes, CA: Sage.
- Carvalho, A. D. (1988). *Epistemologia das Ciências da Educação*. Porto: Edições afrontamento.
- Castro, A. (1988). Textos Didáticos. In Autor (Ed.), *Conhecer o Conhecimento* (pp. 213–241). Lisboa: Caminho.
- Cázares, L., Camacho, F., & Canales, E. (2008). Aprendizaje de las ciencias en preescolar: La construcción de representaciones y explicaciones sobre la luz y las sombras. *Revista Iberoamericana de Educación*, 47(1), 97–121.
- Cázares, L., Camacho, F., & Canales, E. (2009). Preschool science learning: The construction of representations and explanations about color, shadows, light and images. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 3(1), 49–73.
- Chagas, I. (2000). Literacia Científica. O Grande Desafio Para a Escola. In *Actas do 1º Encontro Nacional de Investigação e Formação, Globalização e Desenvolvimento Profissional do Professor*. Lisboa: ESELx.
- Chang, H.-P., Chen, J.-Y., Guo, C.-J., Chen, C.-C., Chang, C.-Y., Lin, S.-H., ... Tseng, Y.-T. (2007). Investigating Primary and Secondary Students' Learning of Physics Concepts in Taiwan. *International Journal of Science Education*, 29(4), 465–482.
doi:10.1080/09500690601073210
- Chauvet, F. (1996). Teaching Colour: Designing and Evaluation of a Sequence. *European Journal of Teacher Education*, 19(2), 121–136.
doi:10.1080/0261976960190204
- Chen-Morris, R. (2009). From Emblems to Diagrams: Kepler's New Pictorial Language of Scientific Representation. *Renaissance Quarterly*, 62(1), 134–170.
- Chen-Morris, R. (2013). "The Quality of Nothing:" Shekespearean Mirrors and Kepler's Visual Economy of Science. In O. Gal & R. Chen-Morris (Eds.), *Science in the*

Age of Baroque (pp. 99–118). Dordrecht: Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-007-4807-1

- Chen-Morris, R. D. (2001). Optics, Imagination, and the Construction of Scientific Observation in Kepler's New Science. *The Monist*, 84(4), 453–486.
- Chevallard, Y., & Joshua, M.-A. (1991). *La Transposition Didactique: Du Savoir Savant au Savoir Enseigné*. Grenoble: La Pensée Sauvage.
- Chi, M. T. H. (2005). Commonsense Conceptions of Emergent Processes: Why Some Misconceptions Are Robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161–199. doi:10.1207/s15327809jls1402_1
- Chi, M. T. H. (2008). Three Types of Conceptual Change : Belief Revision , Mental Model Transformation , and Categorical Shift. In S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 61–82). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chi, M. T. H., & Roscoe, R. D. (2002). The Processes and Challenges of Conceptual Change. In M. Limón & L. Mason (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change. Issues in Theory and Practice* (pp. 3–27). Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.
- Chubin, D. E. (2000). Reculturing science. Politics, policy, and promises to keep. In D. D. Kumar & D. E. Chubin (Eds.), *Science, technology and society: a sourcebook on research and practice* (pp. 257–276). New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Clandinin, D. J., & Connelly, F. M. (1994). Personal Experience Methods. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of Qualitative Research* (pp. 413–427). Thousand Oakes, CA: SAGE Publications.
- Clandinin, D. J., & Connelly, F. M. (2000). *Narrative Inquiry: Experience and Story in Qualitative research*. San Francisco, CA: Jossey-Bass Publishers.
- Clandinin, D. J., & Rosiek, J. (2007). Mapping a Landscape of Narrative Inquiry. In D. J. Clandinin (Ed.), *Handbook of Narrative Inquiry: Mapping a Methodology* (pp. 35–75). Thousand Oakes, CA: SAGE Publications.
- Clement, J., Brown, D., & Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: Finding “Anchoring Conceptions” for grounding instruction on students' Intuitions. *International Journal of Science Education*, 11(5), 554–565.
- Clough, M. P. (2000). Integrating the Nature of Science with Student Teaching: Rationales and Strategies. In W. F. McComas (Ed.), *The Nature Of Science in Science Education: Rationales and Strategies* (pp. 197–210). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Clough, M. P. (2006). Learners responses to the demands of conceptual change: considerations for effective nature of science instruction. *Science & Education*, 15(5), 463–494. doi:10.1007/s11191-005-4846-7

- Cochran-Smith, M., & Donnell, K. (2006). Practitioner Inquiry: Blurring the Boundaries of Research and Practice. In J. L. Green, G. Camilli, & P. B. Elmore (Eds.), *Handbook of Complementary Methods in Education Research* (pp. 503–518). London, UK: Laurence Erlbaum Associates.
- Coelho, R. L. (2007). The Law of Inertia: How understanding its history can improve physics teaching. *Science & Education*, 16(1), 955–974.
- Coelho, R. L. (2009). On the concept of energy: how understanding its history can improve physics teaching. *Science & Education*, 18(1), 961–983.
doi:10.1007/s11191-007-9128-0
- Coelho, R. L. (2010). On the concept of force: How understanding its history can improve physics teaching. *Science & Education*, 19(1), 91–113.
doi:10.1007/s11191-008-9183-1 On
- Coelho, R. L. (2012). Conceptual problems in the foundations of mechanics. *Science & Education*, 21(1), 1337–1356. doi:10.1007/s11191-010-9336-x
- Colin, P., Chauvet, F., & Viennot, L. (2002). Reading images in optics: Students' difficulties and teachers' views. *International Journal of Science Education*, 24(3), 313–332. doi:10.1080/09500690110078923
- Colin, P., & Viennot, L. (2001). Using two models in optics: Students' difficulties and suggestions for teaching. *American Journal of Physics*, 69(7), 36–44.
doi:10.1119/1.1371256
- Collis, K. F., Jones, B. L., Sprod, T., Watson, J. M., & Fraser, P. (1998). Mapping development in students' understanding of vision using a cognitive structural model. *International Journal of Science Education*, 20(1), 45–66.
- Conant, J. B. (1945). *General Education in a Free Society*. Cambridge, Mass: Harvard University Press. Retrieved from <http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic996234.files/generaleducation032440mbp.pdf>
- Connelly, F. M., & Clandinin, D. J. (1999). *Shaping a Professional Identity: Stories of Educational Practice*. (F. M. Connelly & D. J. Clandinin, Eds.). New York, NY: Teachers College Press.
- Connelly, F. M., & Clandinin, D. J. (2006). Narrative Inquiry. In J. L. Green, G. Camilli, & P. B. Elmore (Eds.), *Handbook of Complementary Methods in Education Research* (pp. 477–488). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Constantinou, C. P., Raftopoulos, A., Spanoudes, G., & Natsopoulos, D. (2013). Preschoolers' Construction of Operational Definitions in Magnetism. *The Journal of Emergent Science*, (5), 6–21.
- Corey, S. (1954). Action Research in Education. *The Journal of Educational Research*, 47(5), 375–380. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/27529611>
- Cortazzi, M. (1993). *Narrative Analysis*. London: The Falmer Press.

- Covelo, R., Maurício, P., & Pessoa, S. (2012). Os instrumentos científicos e didáticos do acervo da Escola Superior de Educação de Lisboa na transição entre a Monarquia e a República: Um projeto de musealização. In M. J. Mogarro & M. T. S. Cunha (Eds.), *Rituais, Espaços & Patrimónios Escolares. IX Congresso Luso Brasileiro de História da Educação* (pp. 5537–5546). Lisboa: Instituto de Educação da Universidade de Lisboa. Retrieved from <http://colubhe2012.ie.ul.pt/?p=2287>
- Crawford, B. A. (2000). Embracing the essence of inquiry: New roles for science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(9), 916–937. doi:10.1002/1098-2736(200011)37:9<916::AID-TEA4>3.3.CO;2-U
- Creswell, J. W. (2007). *Qualitative inquiry & research design: Choosing among five approaches* (2nd ed.). London: Sage.
- Creswell, J. W., & Clark, V. L. P. (2011). *Designing and Conducting Mixed Methods Research* (2nd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Cumming, J. (2003). Do Runner Beans Really Make You Run Fast? Young Children Learning About Science-Related Food Concepts in Informal Settings. *Research in Science Education*, 33(4), 483–501. doi:10.1023/B:RISE.0000005254.53876.6e
- Darrigol, O. (2012). *A history of optics from Greek antiquity to the nineteenth century*. New York, NY: Oxford University Press.
- DeBoer, G. E. (1991). *A History of Ideas in Science Education: implications for Practice*. New York, NY: Teachers College Press.
- DeBoer, G. E. (2000). Scientific Literacy: Another Look at Its Historical and Contemporary Meanings and its Relationship to Science Education Reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 582–601.
- Dedes, C. (2005). The Mechanism of Vision: Conceptual Similarities between Historical Models and Children's Representations. *Science & Education*, 14(1), 699–712. doi:10.1007/s11191-005-1928-5
- Dedes, C., & Ravanis, K. (2009). Teaching image formation by extended light sources: The use of a model derived from the history of science. *Research in Science Education*. doi:10.1007/s11165-007-9074-5
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (1998). Introduction: Entering the Field of Qualitative Research. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Strategies of Qualitative Inquiry* (pp. 1–34). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Descartes, R. (1965). *Discourse on Method, Optics, Geometry, and Meteorology*. (P. J. Olscamp, Trans.). New York, NY: The Bobbs-Merrill Company.
- DeVries, R. (2000). Vygotsky, Piaget, and Education: a reciprocal assimilation of theories and educational practices. *New Ideas in Psychology*, 18(2-3), 187–213. doi:10.1016/S0732-118X(00)00008-8

- Dewey, J. (1985). *Democracy and Education 1916: The Middle Works of John Dewey 1899 - 1924 Volume 9*. Toledo, Ohio: Southern Illinois University Press.
- Dijksterhuis, F. (2008). Reading up on the Opticks. Refashioning Newton's Theories of Light and Colors in Eighteenth-Century Textbooks. *Perspectives on Science*, 16(4), 309–327.
- Dijksterhuis, F. J. (2004). *Lens and Waves: Christiaan Huygens and the Mathematical Science of Optics in the Seventeenth Century*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Dijksterhuis, F. J. (2004). Once Snell Breaks Down: From Geometrical to Physical Optics in the Seventeenth Century. *Annals of Science*, 61(2), 165–185. doi:10.1080/0003379021000041884
- Dijksterhuis, F. J. (2012). Conjunctions in Paris: Interactions between Rømer and Huygens. *Centaurus*, 54(1), 58–76. doi:10.1111/j.1600-0498.2011.00247.x
- diSessa, A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10(2-3), 105–225.
- diSessa, A. (2002). Why is “Conceptual Ecology” a good Idea. In M. Limón & L. Mason (Eds.), *Reconsidering Conceptual Change. Issues in Theory and Practice* (pp. 29–60). Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.
- DiSessa, A. (2008). A Bird's-Eye View of the “Pieces” vs. “Coherence” Controversy (From the “Pieces” Side of the Fence). In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 35–60). New York, NY: Routledge.
- diSessa, A., Gillespie, N. M., & Esterly, J. B. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28(6), 843–900. doi:10.1207/s15516709cog2806_1
- DiSessa, A., & Sherin, B. (1998). What changes in conceptual change ? *International Journal of Science Education*, 20(10), 1155–1191.
- Donnelly, J. (2002). Instrumentality , Hermeneutics and the Place of Science in the School Curriculum. *Science & Education*, 11(1), 135–153.
- Donnelly, J. (2004). Humanizing science education. *Science Education*, 88(5), 762–784. doi:10.1002/sce.20004
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Scott, P., & Mortimer, E. (1994). Constructing Scientific Knowledge in the Classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5–12. doi:10.3102/0013189X023007005
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils ans paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science studies. *Studies in Science Education*, 63(1), 221–230. doi:10.1080/03057267808559857

- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312.
- Duck, M. J. (1988). Newton and Goethe on colour: Physical and physiological considerations. *Annals of Science*, 45(5), 507–519.
doi:10.1080/00033798800200361
- Duit, R. (1995). The Constructivist View: A Fashionable and Fruitful Paradigm for Science Education Research and Practice. In L. P. Steffe & J. Gale (Eds.), *Constructivism in Education* (pp. 271–286). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Duit, R. (2007). Science Education Research Internationally: Conceptions, Research Methods, Domains of Research. *EURASIA Journal of Mathematics Science Technology Education*, 3(1), 3–16.
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, K., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction – A Framework for Improving Teaching and Learning Science. In D. Jorde & J. Dillon (Eds.), *Science Education Research and Practice in Europe: Restorative and Prospective* (pp. 13–38). Rotterdam: Sense Publishers.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (1998). Learning in Science-From Behaviourism Towards Social Constructivism and Beyond. In B. J. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education* (pp. 3–26). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688. doi:10.1080/0950069032000076652
- Duit, R., Treagust, D., & Widodo, A. (2008). Teaching Science for Conceptual Change: Theory and Practice. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 629–646). New York, NY: Routledge.
- Dupré, S. (2002). *Galileo, the Telescope, and the Science of Optics in the Sixteenth Century: A Case Study of Instrumental Practice in Art and Science*. Gent: University of Gent.
- Dupré, S. (2012). Kepler's optics without hypotheses. *Synthese*, (185), 501–525.
doi:10.1007/s11229-011-9977-6
- Duschl, R. A., Hamilton, R. J., & Grandy, R. E. (1992). Psychology and Epistemology: Match or Mismatch When Applied to Science Education. In R. A. Duschl & R. J. Hamilton (Eds.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice* (pp. 19–47). Albany: State University of New York Press.
- Duschl, R., Maeng, S., & Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: a review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123–182.
doi:10.1080/03057267.2011.604476

- Eckstein, S. G. (1997). Parallelism in the development of children's ideas and the historical development of projectile motion theories. *International Journal of Science Education*, 19(1), 1057–1073. doi:10.1080/0950069970190905
- Elby, A. (2001). Helping physics students learn how to learn. *American Journal of Physics*, 69(S54), S54–S64. doi:10.1119/1.1377283
- Elliott, J. (1987). Educational Theory, Practical philosophy and Action. *British Journal of Educational Studies*, 35(2), 149–169.
- Elliott, J. (2001). *Action Research for educational change*. Buckingham: Open University Press.
- Elliott, J. (2007). *Using Narrative in Social Research: Qualitative and Quantitative Approaches*. Thousand Oakes, CA: SAGE Publications.
- Elliott, J. (2009). Building educational theory through action research. In S. E. Noffke & B. Somekh (Eds.), *The SAGE Handbook of educational action research* (pp. 28–38). London: Sage.
- Ergazaki, M., Zogza, V., & Grekou, A. (2009). From preschoolers' ideas about decomposition, domestic garbage fate and recycling to the objectives of a constructivist learning environment in this context. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 3(1), 99–121.
- Erickson, F. (1984). Qualitative Methods in Research on Teaching. In M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of Research on Teaching* (pp. 119–191). New York, NY: Macmillan.
- Esgalhado, A., & Rebordão, J. (1987). A Propos de Modeles "Spontanes" de Phenomenes lies a la Lumiere. In *Actes des 9^e journees int. sur l'ed. scient.* (pp. 304–308). Chamonix: Centre Jean Franco.
- Facione, P. A. (1990). *Critical thinking: a statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction*. Retrieved from <http://eric.ed.gov/?id=ED315423>
- Fals-Borda, O. (2006). Participatory (Action) Research in Social Theory: Origins and Challenges. In P. Reason & H. Bradbury (Eds.), *Handbook of Action Research: The Concise Paperback Edition* (pp. 27–37). Thousand Oakes, CA: Sage.
- Faria, C., Chagas, I., Machado, A., & Sousa, J. (2012). A science teacher education course in a science centre: a successful strategy to empower teachers to master museum resources exploration. *Eleletronic Journal of Science Educatin*, 16(2), 1–13.
- Faria, C., Pereira, G., & Chagas, I. (2012). D. Carlos de Bragança, a Pioneer of Experimental Marine Oceanography: Filling the Gap Between Formal and Informal Science Education. *Science & Education*, 21(6), 813–826. doi:10.1007/s11191-010-9239-x

- Feher, E., & Meyer, K. R. (1992). Children's Conceptions of Color. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(5), 505–520.
- Feher, E., & Rice, K. (1988). Shadows and Anti-Images: Children's Conceptions of Light and Vision. II. *Science Education*, 72(5), 637–649.
- Feigenberg, J., Lavrik, L. V., & Shunyakov, V. (2002). Space scale: models in the history of science and students mental models. *Science & Education*, 11(4), 377–392. doi:10.1023/A:1016050526156
- Fensham, P. J. (2008). *Science Education Policy-Making: Eleven emerging issues*. Paris: UNESCO.
- Fensham, P. J., & Harlen, W. (1999). School science and public understanding of science. *International Journal of Science Education*, 21(7), 755–763. doi:10.1080/095006999290417
- Ferreira, M., & Almeida, G. de. (2004). *Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas*. Lisboa: Plátano Editora.
- Ferreira, S., & Morais, A. M. (2010). A natureza da ciência nos currículos de ciências — Estudo do currículo de Ciências Naturais do 3º ciclo do ensino básico. *Revista Portuguesa de Educação*, 23(1), 119–156.
- Fetherstonhaugh, A., Happs, J., & Treagust, D. (1987). Student misconceptions about light: A comparative study of prevalent views found in Western Australia, France New Zealand, Sweden and the United States. *Research in Science Education*, 17(1), 157–164. doi:10.1007/BF02357183
- Feyerabend, P. K. (1981). Classical Empiricism. In *Problems of Empiricism: Philosophical papers* (pp. 34–51). Cambridge: Cambridge University Press.
- Feyerabend, P. K. (1993). *Against Method* (3rd ed.). New York, NY: Verso Books.
- Fischer, F., & Mandell, A. (2009). Michael Polanyi's republic of science: The tacit dimension. *Science as Culture*, 18(1), 23–46. doi:10.1080/09505430802705889
- Flick, U. (1992). Triangulation Revisited: Strategy of Validation or Alternative? *Journal for the Theory of Social Behaviour*, 2(1), 175–198.
- Freire, S., Faria, C., Galvão, C., & Reis, P. (2013). New Curricular Material for Science Classes: How Do Students Evaluate It? *Research in Science Education*, 43(1), 163–178. doi:10.1007/s11165-011-9247-0
- Gage, J. (2008). Signs of Disharmony: Newton's Opticks and the Artists. *Perspectives on Science*, 16(4), 360–377.
- Gal, O., & Chen-Morris, R. (2010a). Baroque Optics and the Disappearance of the Observer: From Kepler's Optics to Descartes' Doubt. *Journal of the History of Ideas*, 71(2), 191–217.

- Gal, O., & Chen-Morris, R. (2010b). Empiricism without the senses: How the instrument replaced the eye. In *The Body as Object and Instrument of Knowledge* (pp. 121–147). doi:10.1007/978-90-481-3686-5_7
- Galileu. (2010). *Sidereus Nuncios: O Mensageiro das Estrelas*. (H. Leitão, Ed. & Trans.) (3rd ed.). Liaboa: Fundação Caloust Goulbenkian.
- Galili, I. (2010). *Excuse to the History of Image Concepts and Vision: From Pythagoras to Kepler*. Jerusalem: The Hebrew University of Jerusalem.
- Galili, I. (2010). *Excuse to the history of image concepts and vision: From Pythagoras to Kepler*. Jerusalem: Hebrew University of Jerusalem.
- Galili, I. (2012a). Cultural Content Knowledge – The Case of Physics Education. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 20(2), 1–13.
- Galili, I. (2012b). Promotion of Cultural Content Knowledge Through the Use of the History and Philosophy of Science. *Science & Education*, 21(9), 1283–1316. doi:10.1007/s11191-011-9376-x
- Galili, I., Bendall, S., & Goldberg, F. (1993). The Effects of Prior Knowledge and Instruction on Understanding Image Formation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 271–301.
- Galili, I., & Hazan, A. (2000). Learners' knowledge in optics : interpretation , structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22(2), 57–88. doi:10.1080/095006900290000
- Galili, I., & Hazan, A. (2001). Experts' views on using history and philosophy of science in the practice of physics instruction. *Science & Education*, 10(4), 345–367. doi:10.1023/A:1011209131446
- Galili, I., & Kaplan, D. (1996a). Students' operation with the concept of weight. *Science Education*, 80(4), 457–487. doi:10.1002/(SICI)1098-237X(199607)80:4<457::AID-SCE5>3.0.CO;2-C
- Galili, I., & Kaplan, D. (1996b). Students' Operations with the Weight Concept. *Science Education*, 80(4), 457–487. doi:10.1002/(SICI)1098-237X(199607)80:4<457::AID-SCE5>3.0.CO;2-C
- Galili, I., & Lavrik, V. (1998). Flux concept in learning about light: A critique of the present situation. *Science Education*, 82(5), 591–613. doi:10.1002/(SICI)1098-237X(199809)82:5<591::AID-SCE4>3.0.CO;2-4
- Galvão, C. (2005). Narrativas em Educação. *Ciência & Educação (Bauru)*, 11(2), 327–345.
- Galvão, C., Reis, P., Freire, A., & Olivera, T. (2007). Science Curriculum in Portugal: From the development to the evaluation of student's competences. In D. Waddington, P. Nentwig, & S. Schanze (Eds.), *Making it comparable. Standards in Science Education* (pp. 237–253). Munique: Waxmann Verlag.

- Galvão, C., Reis, P., Freire, S., & Almeida, P. (2011). Enhancing the Popularity and the Relevance of Science Teaching in Portuguese Science Classes. *Research in Science Education*, 41(1), 651–666.
- Galvão, C., Reis, P., Freire, S., & Faria, C. (2011). *Ensinar Ciências, Aprender Ciências: O contributo do projeto internacional PARSEL para tornar a ciência mais relevante para os Alunos*. Porto: Porto Editora.
- Garik, P., & Benétreau-Dupin, Y. (2014). Report on a Boston University Conference December 7–8, 2012 on How Can the History and Philosophy of Science Contribute to Contemporary US Science Teaching? *Science & Education*, 23(9), 1853–1873. doi:10.1007/s11191-014-9716-8
- Garrison, J. (1995). Deweyan Pragmatism and the Epistemology of Contemporary Social Constructivism. *American Education Research Journal*, 32(4), 716–740. doi:10.3102/00028312032004716
- Garrison, J. W., & Bentley, M. L. (1990). Science education, conceptual change and breaking with everyday experience. *Studies in Philosophy and Education*, 10(1), 19–35.
- Gaskell, G. (2005). Individual and Group Interviewing. In M. W. Bauer & G. Gaskell (Eds.), *Qualitative Researching with Text, Image and Sound. A Practical Handbook* (4th ed., pp. 38–55). London: Sage.
- Gaskell, J. (2003). Engaging Science Education Within Diverse Cultures. *Curriculum Inquiry*, 33(3), 235–249. doi:10.1111/1467-873X.00262
- Gauvin, J. F. (2006). Artisans, Machines and Descartes's Organon. *History of Science*, 44, 187–216.
- Gaventa, J., & Cornwall, A. (2001). Power and Knowledge. In P. Reason & H. Bradbury (Eds.), *Handbook of Action Research: Participative Inquiry and Practice* (pp. 70–80). London, UK: SAGE Publications.
- Gil-Pérez, D., Guisasola, J., Moreno, A., Cachapuz, A., Carvalho, A., Torregrosa, J., ... Gallego, R. (2002). Defending Constructivism in Science Education. *Science & Education*, 11(6), 557–571. doi:10.1023/A:1019639319987
- Godinho, V. M. (1971a). O significado da história do pensamento científico. In *Ensaio. Humanismo científico e reflexão filosófica* (pp. 221–225). Liaboa: Sá da Costa.
- Godinho, V. M. (1971b). Prefácio. In *Ensaio. Humanismo científico e reflexão filosófica*. Liaboa: Sá da Costa.
- Goldberg, F., & McDermott, L. C. (1987). An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal of Physics*, 55(2), 108–119. doi:10.1119/1.15254
- Good, R. D. (1994). Humanizando a Ciência. *Revista de Educação*, IV(1/2), 113–115.

- Gould, S. J. (2004). *The Hedgehog, the Fox, and the Magister's Pox: Mending the Gap between Science and the Humanities*. London: Vintage.
- Grandy, R., & Duschl, R. A. (2007). Reconsidering the Character and Role of Inquiry in School Science: Analysis of a Conference. *Science & Education*, 16(2), 141–166. doi:10.1007/s11191-005-2865-z
- Grant, E. (2003). *Os Fundamentos da Ciência Moderna na Idade Média*. (A. Simões & H. Leitão, Eds.). Porto: Porto Editora.
- Greiffenhagen, C., & Sherman, W. (2008). Kuhn and conceptual change: on the analogy between conceptual changes in science and children. *Science & Education*, 17(1), 1–26. doi:10.1007/s11191-006-9063-5
- Groundwater-Smith, S., Mitchell, J., Mockler, N., Ponte, P., & Ronnerman, K. (2013). *Facilitating Practitioner Research: Developing Transformational Partnerships*. New York, NY: Routledge.
- Guerlac, H. (1981). *Newton on the Continent*. London: Cornell University Press.
- Guesne, E. (1985). Light. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's Ideas in Science* (pp. 10–32). Philadelphia, PA: Open University Press.
- Guthmann, C. (2010). Newton et la naissance de la théorie des couleurs. *Bibnum*. Retrieved from <http://www.bibnum.education.fr/physique/optique/lettre-de-newton-contenant-sa-nouvelle-theorie-sur-la-lumiere-et-les-couleurs#>
- Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hadzigeorgiou, Y. (2002). A Study of the Development of the Concept of Mechanical Stability in Preschool Children. *Research in Science Education*, 32(3), 373–391.
- Hall, A. R. (1990). Beyond the Fringe: Diffraction as Seen by Grimaldi, Fabri, Hooke and Newton. *Notes and Records of the Royal Society of London*, 44(1), 13–23.
- Hammer, D. (1989). Two Approaches to Learning Physics. *The Physics Teacher*, 27(9), 664–670.
- Hammer, D. (1995). Epistemological considerations in teaching introductory physics. *Science Education*, 79(4), 393–413.
- Hammer, D. (1996). Misconceptions or P-Prims: How May Alternative Perspectives of Cognitive Structure Influence Instructional Perceptions and Intentions? *The Journal of the Learning Sciences*, 5(2), 97–127.
- Hammer, D., & Elby, A. (2002). On the form of a personal epistemology. In B. K. Hofer & P. R. Pintrich (Eds.), *Personal Epistemology: The Psychology of Beliefs about Knowledge and Knowing* (pp. 169–190). Mahwah, NJ: Erlbaum.

- Hannust, T., & Kikas, E. (2007). Children's knowledge of astronomy and its change in the course of learning. *Early Childhood Research Quarterly*, 22(1), 89–104. doi:10.1016/j.ecresq.2006.11.001
- Hecht, E. (1987). *Óptica*. Lisboa: Fundação Caloust Goulbenkian.
- Hesse-Bieber, S. N. (2010). *Mixed methods research: Merging theory with practice*. New York, NY: The Guilford Press.
- Hewitt, P. G. (1995). Lessons from Lily on the Introductory Course. *Physics Today*, 48(9), 85–86. doi:http://dx.doi.org/10.1063/1.2808164
- Hewson, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 3(4), 383–396.
- Hewson, P. W. (1992). Conceptual change in science teaching and teacher education. In *Research and Curriculum Development in Science Teaching*. Madrid: National Center for Educational Research, Documentation, and Assessment.
- Heywood, D. S. (2005). Primary Trainee Teachers' Learning and Teaching About Light: Some pedagogic implications for initial teacher training. *International Journal of Science Education*, 27(12), 1447–1475. doi:10.1080/09500690500153741
- Hirn, C., & Viennot, L. (2000). Transformation of didactic intentions by teachers: the case of geometrical optics in grade 8. *International Journal of Science Education*, 22(4), 357–384. doi:10.1080/095006900289796
- Hodson, D. (2008). *Towards Scientific Literacy: A Teachers' Guide to the History, Philosophy and Sociology of Science*. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Hodson, D. (2014). Learning Science, Learning about Science, Doing Science: Different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534–2553. doi:10.1080/09500693.2014.899722
- Holbrook, J., & Rannikmae, M. (2009). The Meaning of Scientific Literacy. *International Journal of Environmental & Science Education*, 4(3), 275–288.
- Holton, G. (1973). *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein* (2nd ed.). Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Holton, G. (1978). *The scientific imagination: Case studies*. London: Cambridge University Press.
- Holton, G. (1986). *The Advancement of Science, and its Burdens*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Holton, G. (2003a). The Project Physics Course, Then and Now. *Science & Education*, 12(8), 779–786. doi:10.1023/B:SCED.0000004544.55635.40
- Holton, G. (2003b). What Historians of Science and Science Educators Can Do for One Another. *Science & Education*, 12(7), 603–616. doi:10.1023/A:1025675922918

- Holton, G. (2014). The Neglected Mandate: Teaching Science as Part of Our Culture. *Science & Education*, 23(9), 1875–1877. doi:10.1007/s11191-013-9632-3
- Hon, G., & Zik, Y. (2009). Kepler's optical part of astronomy (1604): Introducing the ecliptic instrument. *Perspectives on Science*, 17(3), 307–345.
- Horsdal, M. (2012). *Telling Lives: Exploring dimensions of narratives*. New York, NY: Routledge.
- Höttecke, D., Henke, A., & Riess, F. (2012). Implementing History and Philosophy in Science Teaching: Strategies, Methods, Results and Experiences from the European HIPST Project. *Science & Education*, 21(9), 1233–1261. doi:10.1007/s11191-010-9330-3
- Höttecke, D., & Silva, C. C. (2011). Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education*, 20(3-4), 293–316. doi:10.1007/s11191-010-9285-4
- Howe, A. C. (1996). Development of Science Concepts within a Vygotskian Framework. *Science Education*, 80(1), 35–51.
- Hurd, P. D. (1998). Scientific Literacy : New Minds for a Changing World. *Science Education*, 82(3), 407–416.
- Huygens, C. (1912). *Treatise on light*. (S. P. Thomson, Trans.). London: Macmillan & Co. Limited.
- Ierodiakonou, K. (2005). Empedocles on Colour and Colour Vision. *Oxford Studies in Ancient Philosophy*, 29, 1–37.
- IHPST. (2014). HIPST. Retrieved from http://hipst.eled.auth.gr/hipst_html/project.htm
- Ireland, J., Watters, J. J., Lunn Brownlee, J., & Lupton, M. (2014). Approaches to Inquiry Teaching: Elementary teacher's perspectives. *International Journal of Science Education*, 36(10), 1733–1750. doi:10.1080/09500693.2013.877618
- Jenkins, E. W. (1990). The history of science in British schools: retrospect and prospect. *International Journal of Science Education*, 12(3), 274–281.
- Jenkins, E. W. (2000). Constructivism in School Science Education: Powerful Model or the Most Dangerous Intellectual Tendency? *Science & Education*, 9(6), 599–610. doi:10.1023/A:1008778120803
- Jong, T. De, & Ferguson-Hessler, M. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational Psychologist*, 31(2), 105–113. doi:10.1207/s15326985ep3102_2
- Kahle, J. B. (2007). Systemics reforms: Research, vision, and politics. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 911–941). New York, NY: Routledge.
- Kalman, C. (2009). The Need to Emphasize Epistemology in Teaching and Research. *Science & Education*, 18(1), 325–347. doi:10.1007/s11191-007-9135-1

- Kaminski, W. (1989). Conceptions des enfants et des autres sur la lumière. *Bulletin de l'Union Des Physiciens*, 716, 973–991.
- Kampeza, M., & Ravanis, K. (2009). Transforming the representations of preschool-age children regarding geophysical entities and physical geography. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 13(1), 141–158.
- Keleş, E., & Demirel, P. (2010). A study towards correcting student misconceptions related to the color issue in light unit with POE technique. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 3134–3139.
- Kemmis, S. (2005). Knowing practice: searching for saliences. *Pedagogy, Culture & Society*, 13(3), 391–426. doi:10.1080/14681360500200235
- Kemmis, S. (2006). Participatory action research and the public sphere. *Educational Action Research*, 14(4), 459–476.
- Kemmis, S. (2010). Research for praxis: knowing doing. *Pedagogy, Culture & Society*, 18(1), 9–27. doi:10.1080/14681360903556756
- Kemmis, S., & McTaggart, R. (2000). Participatory action research. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *The SAGE Handbook of Qualitative Research* (2nd ed., pp. 567–605). Thousand Oakes, CA: Sage.
- Kemmis, S., & McTaggart, R. (2006). Participatory action research: Communicative action and the Public Sphere. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *The Sage Handbook of Qualitative Research* (3rd ed., pp. 559–603). Thousand Oakes, CA: Sage.
- Koliopoulos, D., & Arapaki, X. (n.d.). *Art, science and technology in early childhood education: constructing an in- service training program about the notion of color*. Retrieved from <https://upatras.academia.edu/DimitrisKoliopoulos>
- Koliopoulos, D., Christidou, V., Symidala, I., & Koutsiouba, M. (2009). Pre-energy reasoning in preschool children. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*, 3(1), 123–140.
- Kolstø, S. D. (2001). Scientific literacy for citizenship: Tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues. *Science Education*, 81(1), 291–310. doi:10.1002/sce.1011
- Kolstø, S. D. (2008). Science education for democratic citizenship through the use of the history of science. *Science & Education*, 17(8-9), 977–997. doi:10.1007/s11191-007-9084-8
- Koshy, V. (2008). *Action Research for improving practice: A practical guide* (4th ed.). Thousand Oakes, CA: Sage.
- Krajcik, J., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Kristin, M. B., Fredricks, J., & Soloway, E. (1988). Inquiry in Project-Based Science Classrooms: Initial Attempts by Middle School Students. *The Journal of the Learning Sciences*, 7(3&4), 313–350.

- Krathwohl, D. R. (2002). A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212–218. doi:10.1207/s15430421tip4104_2
- Krueger, R. A., & Casey, M. A. (2009). *Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research* (4th ed.). Thousand Oaks, California: Sage.
- Krugly-Smolka, E. . (1996). Scientific Culture , Multiculturalism and the Science Classroom. *Science & Education*, 5(1), 21–29. doi:10.1007/BF00426438
- Kubli, F. (2005). Science Teaching as a Dialogue – Bakhtin, Vygotsky and some Applications in the Classroom. *Science & Education*, 14(6), 501–534. doi:10.1007/s11191-004-8046-7
- Kuhn, T. S. (1996). *The Structure of Scientific Revolutions* (3rd ed.). London: The University of Chicago Press.
- Kuhn, T. S. (2011). *O percurso desde A Estrutura. Ensaios filosóficos (1970-1993) e entrevista autobiográfica*. (A. Sampaio, Trans., CIUHCT, Ed.). Porto: Porto Editora.
- Kvale, S., & Brinkmann, S. (2009). *Interviews: Learning the Craft of Qualitative Research Interviewing* (2nd ed.). Thousand Oaks, California: Sage.
- La Rosa, C., Mayer, M., Patrizi, P., & Vicentini-Missoni, M. (1984). Commonsense knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into the properties of light. *European Journal of Science Education*, 6(4), 387–397.
- Lakatos, I. (1968). Criticism and the methodology of scientific research programmes. *Proceedings of the Aristotelian Society*. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/10.2307/4544774>
- Lakatos, I. (1970a). Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the Growth of Knowledge* (pp. 91–195). Cambridge University Press.
- Lakatos, I. (1970b). History of Science and Its Rational Reconstructions. In *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* (Vol. 1970, pp. 91–136). University of Chicago Press.
- Lakatos, I. (1988). *História da ciência e suas reconstruções racionais – e outros ensaios*. (E. Mendes, Trans.). Lisboa: Edições 70.
- Langermann, Y. T. (2007). Ibn al-Haytham: Abū 'Alī al-Ḥasan ibn al-Ḥasan. In *The Biographical Encyclopedia of Astronomers* (pp. 556–557). New York, NY: Springer. doi:10.1007/978-0-387-30400-7_679
- Langley, D., Ronen, M., & Eylon, B.-S. (1997). Light propagation and visual patterns: Preinstruction learners' conceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(4), 399–424. doi:10.1002/(SICI)1098-2736(199704)34:4<399::AID-TEA8>3.0.CO;2-M

- Latour, B. (1987). *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers through society*. Harvard University Press.
- Laugksch, R. C. (2000). Scientific Literacy : A Conceptual Overview. *Science Education*, 84(1), 71–94. doi:10.1002/(SICI)1098-237X(200001)84:1<71::AID-SCE6>3.0.CO;2-C
- Layton, D. (1994). STS in the School Curriculum: A Movement Overtaken by History? In J. Solomon & G. Aikenhead (Eds.), *STS Education: International Perspectives on Reform* (pp. 32–44). Teachers College Press.
- Leach, J., Amettler, J., & Scott, P. (2010). Establishing and communicating knowledge about teaching and learning scientific content: The role of design briefs. In K. Kortland & K. Klassen (Eds.), *Proceedings of the symposium in honour of Piet Lijnse at the time of his retirement as Professor of Physics Didactics at Utrecht University* (pp. 7–36). Utrecht: CDBeta Press – Freudenthal Institute for science and mathematics education (Flsme).
- Leach, J., & Scott, P. (2002). Designing and Evaluating Science Teaching Sequences: An Approach Drawing upon the Concept of Learning Demand and a Social Constructivist Perspective on Learning. *Studies in Science Education*, 38(1), 115–142. doi:10.1080/03057260208560189
- Leach, J., & Scott, P. (2003). Individual and Sociocultural Views of Learning in Science Education. *Science & Education*, 12(1), 91–113. doi:10.1023/A:1022665519862
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research in Science Education* (pp. 831–879). New York, NY: Routledge.
- Lederman, N. G., Antink, A., & Bartos, S. (2014). Nature of Science, Scientific Inquiry, and Socio-Scientific Issues Arising from Genetics: A Pathway to Developing a Scientifically Literate Citizenry. *Science & Education*, 23(2), 285–302. doi:10.1007/s11191-012-9503-3
- Lee, V. R. (2010). How different variants of orbit diagrams influence student explanations of the seasons. *Science Education*, 94(6), 985–1007. doi:10.1002/sce.20403
- Lemke, J. L. (1990). *Talking Science: Language, learning, and Values*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation.
- Leuchter, M., Saalbach, H., & Hardy, I. (2014). Designing Science Learning in the First Years of Schooling. An intervention study with sequenced learning material on the topic of “floating and sinking.” *International Journal of Science Education*, 36(10), 1751–1771. doi:10.1080/09500693.2013.878482
- Leung, C. B. (2008). Preschoolers’ Acquisition of Scientific Vocabulary Through Repeated Read-Aloud Events, Retellings, and Hands-On Science Activities. *Reading Psychology*, 29(2), 165–193. doi:10.1080/02702710801964090

- Levinson, R. (2006). Towards a Theoretical Framework for Teaching Controversial Socio-scientific Issues. *International Journal of Science Education*, 28(10), 1201–1224. doi:10.1080/09500690600560753
- Lijnse, P. L. (1995). “Developmental research” as a way to an empirically based “didactical structure” of science. *Science Education*, 79(2), 189–199. doi:10.1002/sce.3730790205
- Lijnse, P. L. (2000). Didactics of science: The forgotten dimension in science education research? In R. Millar, J. Leach, & J. Osborne (Eds.), *Improving Science Education: The Contribution of Research* (pp. 308–326). Philadelphia, PA: Open University Press.
- Lijnse, P. L. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching–learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26(5), 537–554. doi:10.1080/09500690310001614753
- Lindberg, D. (1976). *Theories of vision from al-Kindi to Kepler*. London: The University of Chicago Press.
- Lising, L., & Elby, A. (2005). The impact of epistemology on learning: A case study from introductory physics. *American Journal of Physics*, 73, 372–382. doi:10.1119/1.1848115
- Lohne, J. (1968). Experimentum Crucis. *Notes and Records of the Royal Society*, 23(2), 169–199. doi:10.1098/rsnr.1968.0021
- Loizos, P. (2005). Video, Film and Photographs as Research Documents. In M. W. Bauer & G. Gaskell (Eds.), *Qualitative Researching with Text, Image and Sound. A Practical Handbook* (pp. 93–107). London: SAGE Publications.
- Lyons, T. (2007). Different Countries, Same Science Classes: Students’ experiences of school science in their own words. *International Journal of Science Education*, 28(6), 591–613. doi:10.1080/09500690500339621
- Marina, J. A. (1995). *Teoria da inteligência criadora*. (F. Moutinho, Trans.). Lisboa: Caminho.
- Martinez-Borreguero, G., Pérez-Rodríguez, A. L., Suero-López, M. I., & Pardo-Fernández, P. J. (2013). Detection of Misconceptions about Colour and an Experimentally Tested Proposal to Combat them. *International Journal of Science Education*, 35(8), 1299–1324. doi:10.1080/09500693.2013.770936
- Martins, R. A., & Silva, C. C. (2001). Newton and Colour: The Complex Interplay of Theory and Experiment. *Science & Education*, 10(3), 287–305.
- Matthews, M. R. (1992a). Constructivism and Empiricism: An Incomplete Divorce. *Research in Science Education*, 22(1), 299–307. doi:10.1007/BF02356909
- Matthews, M. R. (1992b). History, philosophy, and science teaching: The present rapprochement. *Science & Education*, 1(1), 11–47. doi:10.1007/BF00430208

- Matthews, M. R. (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. New York, NY: Routledge.
- Matthews, M. R. (2002). Constructivism and Science Education: A Further Appraisal. *Journal of Science Education and Technology*, 11(2), 121–134. doi:10.1023/A:1014661312550
- Matthews, M. R. (2009). Teaching the Philosophical and Worldview Components of Science. *Science & Education*, 18(6-7), 697–728. doi:10.1007/s11191-007-9132-4
- Matthews, M. R. (2012). Changing the focus: From nature of science to features of science. In M. S. Khine (Ed.), *Advances in Nature of Science Research* (pp. 3–26). Dordrecht: Springer.
- Maxwell, J. A. (1992). Understanding and Validity in Qualitative Research. *Harvard Educational Review*, 62(3), 270–230.
- McComas, W. F., & Olson, J. K. (2000). The Nature of Science in International Science Education Standards Documents. In W. F. McComas (Ed.), *The Nature Of Science in Science Education: Rationales and Strategies* (pp. 41–52). London: Kluwer Academic Publishers.
- McNiff, J. (2007). My story is my living educational theory. In D. J. Clandinin (Ed.), *Handbook of narrative inquiry: Mapping a methodology* (pp. 308–329). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- McNiff, J., & Whitehead, J. (2002). *Action Research: Principles and practices* (2nd ed.). London: Routledge.
- McNiff, J., & Whitehead, J. (2010). *You and Your Action Research Project* (3rd ed.). New York, NY: Routledge.
- McTaggart, R. (1994). Participatory Action Research: issues in theory and practice. *Educational Action Research*, 2(3), 313–337. doi:10.1080/0965079940020302
- McTaggart, R. (1996). Issues for participatory Action Researchers. In Zuber-Skerritt (Ed.), *New Directions in Action Research* (pp. 243–256). London, UK: The Falmer Press.
- Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26(5), 515–535. doi:10.1080/09500690310001614762
- Merriam, S. B. (1995). What Can You Tell From an N of 1?: Issues of Validity and reliability in Qualitative Research. *PAACE Journal of Lifelong Learning*, 4(1), 51–60.
- Metz, D., Klassen, S., McMillan, B., Clough, M., & Olson, J. (2007). Building a Foundation for the Use of Historical Narratives. *Science & Education*, 16(3-5), 313–334. doi:10.1007/s11191-006-9024-z

- Mihas, P., & Andreadis, P. (2005). A Historical Approach to the Teaching of the Linear Propagation of Light, Shadows and Pinhole Cameras. *Science & Education*, 14(7-8), 675–697. doi:10.1007/s11191-005-1793-2
- Millar, R. (2008). “Scientific literacy” and its implications as a curriculum aim. In S. Mikelskis-Seifert, U. Ringelband, & M. Bruckmann (Eds.), *Four Decades of Research in science Education - from Curriculum Development to Quality Improvement* (pp. 43–56). Munique, Alemanha: Waxmann Verlag.
- Miller, J. D. (1983). Scientific Literacy: A Conceptual and empirical review. *Deadalus*, 112(2), 29–48. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/20024852>
- Miller, S. (2001). Public Understanding of Science at the crossroads. *Public Understanding of Science*, 10(1), 115–120. doi:10.1088/0963-6625/10/1/308
- Mills, G. E. (2003). *Action Research: A Guide for the Teacher Resercher*. New Jersey: Prentice Hall.
- Ministério da Educação. (1991a). *Programa de Ciências Naturais do Ensino Básico - 2.º Ciclo, Vol I.* (Vol. I). Lisboa: Imprensa Nacional Casa da Moeda.
- Ministério da Educação. (1991b). *Programa de Educação Visual do Ensino Básico - 2.º Ciclo: Vol. II.* Lisboa: Imprensa Nacional Casa da Moeda.
- Ministério da Educação e Ciência. (2004). *Primeiro Ciclo do Ensino Básico: Organização Curricular e Programas.* (DEB, Ed.) (4th ed.). Lisboa: Editorial do Ministério da Educação.
- Ministério da Educação e Ciência. Decreto-Lei n.º 91/2013 de 10 de julho (2013). Diário da República, 1.ª série — N.º 131.
- Minstrell, J. (1992). Facets of students’ knowledge and relevant instruction. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 110–128). Kiel: Institut fiir die Padagogik der Naturwissenschaften an der Universiat Kiel.
- Minstrell, J. (1996). Facets of Students’ Thinking. Retrieved from <http://depts.washington.edu/huntlab/diagnoser/facetcode.html>
- Minstrell, J. (1998). Instruction Based on Student Thinking. *Chinese Physics Education*, 2(2), 1–21.
- Minstrell, J. (2001). The role of the teacher in making sense of classroom experiences and effecting better learning. In S. M. Carver & D. Klahr (Eds.), *Cognition and instruction: Twenty-five years of Progress* (pp. 121–149). Laurence Erlbaum Associates.
- Minstrell, J., & van Zee, E. H. (2000). *Inquiring into Inquiry Learning and Teaching in Science.* (J. Minstrell & E. H. van Zee, Eds.). New York, NY: AAAS.
- Mishler, E. G. (1986). *Research Interviewing: Context and Narrative.* Cambridge: Harvard University Press.

- Moché, D. L. (2000). *Astronomia*. (M. Ferreira, Trans.) (5th ed.). Lisboa: Gradiva.
- Moll, L., & Whitmore, K. (1993). Vygotsky in Classroom Practice: Moving from Individual Transmission to Social Transaction. In E. Forman, N. Minick, & C. Stone (Eds.), *Contexts for learning: Sociocultural dynamics in children's development* (pp. 19–43). New York, NY: Oxford University Press.
- Monk, M., & Osborne, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81(4), 405–424. doi:10.1002/(SICI)1098-237X(199707)81:4<405::AID-SCE3>3.0.CO;2-G
- Moraes, R. (2003). É Possível Ser Construtivista no Ensino de Ciências? In R. Moraes (Ed.), *Construtivismo e Ensino de Ciências: Reflexões Epistemológicas e Metodológicas* (pp. 103–129). Porto Alegre: EDIPUCRS.
- Morgan, D. L. (1993). *Successful Focus Groups: Advancing the state of the Art*. (D. L. Morgan, Ed.). Newbury Park, California: Sage Focus Edition.
- Morgan, D. L. (1996). Focus groups. *Annual Review of Sociology*, 22(1), 129–152.
- Musil, R. (2014). *O homem sem qualidades*. (J. Barrento, Trans.) (4th ed.). Lisboa: Dom Quixote.
- Newton, I. (1671). New Theory about Light and Colors. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 6(80), 3075–3087. doi:10.1098/rstl.1671.0072
- Newton, I. (1672). Mr. Newtons Answer to the Foregoing Letter. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 7(81-91), 4014–5018. doi:10.1098/rstl.1672.0006
- Newton, I. (1704). *Opticks: or a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light* (1^a ed.). London. Retrieved from <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k3362k>
- Newton, I. (1984). Optical Lectures. In A. E. Shapiro (Ed.), *The Optical lectures* (pp. 46–279). Cambridge: Cambridge University Press.
- Newton, P., Driver, R., & Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21(5), 553–576. doi:10.1080/095006999290570
- Norris, N. (1997). Error, bias and validity in qualitative research. *Educational Action Research*, 5(1), 172–176. doi:10.1080/09650799700200020
- Norris, S. P., & Phillips, L. M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education*, 87(2), 224–240. doi:10.1002/sce.10066
- Novak, J. D. (1977). *A Theory of Education*. London: Cornell University Press.
- Nóvoa, A. (2000). The teaching profession in Europe: Historical and sociological analysis. In E. S. Swing, J. Schriewer, & F. Orivel (Eds.), *Problems and Prospects*

- in *European Education* (pp. 45–71). Westport, Connecticut: Praeger. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10451/4813>
- OCDE. (2006). *Evolution of student interest in science and technology studies – policy report*. Retrieved from www.oecd.org/dataoecd/16/30/36645825.pdf
- Olivieri, G., Torosantucci, G., & Vicentini, M. (1988). Coloured shadows. *International Journal of Science Education*, 10(5), 561–569. doi:10.1080/0950069880100509
- Osborne, J., & Collins, S. (2001). Pupils' views of the role and value of the science curriculum: A focus-group study. *International Journal of Science Education*, 23(5), 441–467. doi:10.1080/09500690010006518
- Osborne, J., & Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: Critical Reflections*. Nuffield Foundation.
- Osborne, J. F. (1996). Beyond constructivism. *Science Education*, 80(1), 53–82. doi:10.1002/(SICI)1098-237X(199601)80:1<53::AID-SCE4>3.0.CO;2-1
- Pfundt, H., & Duit, R. (1994). *Bibliography: Students' Alternative Frameworks and Science Education* (4th ed.). Kiel, Germany: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Phillips, D. C. (1995). The Good, the Bad, and the Ugly: The Many Faces of Constructivism. *Educational Researcher*, 24(7), 5–12. doi:10.3102/0013189X024007005
- Piaget, J. (1952). *The Origin of Intelligence in Children*. (M. Cook, Trans.). New York, NY: International University Press.
- Piaget, J. (1991). *Psicologia e Epistemologia: Para uma teoria do conhecimento*. (M. de F. Bastos & J. G. Bastos, Trans.) (5th ed.). Publicações Dom Quixote.
- Piaget, J. (2002). *The Psychology of Intelligence*. (M. Piercy & D. E. Berlyne, Trans.). New York, NY: Routledge.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyle, R. A. (1993). Beyond could conceptual change: The Role of Conceptual Beliefs and Classroom Contextual Factors in The Process of conceptual Change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167–199.
- Polkinghorne, D. E. (1988). *Narrative Knowing and the Human Sciences*. Albany: State University of New York Press.
- Polkinghorne, D. E. (1995). Narrative configuration in qualitative analysis. In J. A. Hatch & R. Wisniewski (Eds.), *Life History and Narrative* (pp. 5–24). London: The Falmer Press.
- Pombo, O. (2000). Comunicação e construção do conhecimento. *Revista de Educação*, 9(1), 5–25.
- Pombo, O. (2002). *A Escola, a Recta e o Círculo*. Lisboa: Relógio D'Água Editores.

- Pombo, O. (2011). *Unidade da Ciência: Programas, figuras e metáforas*. (CFCUL/Gradiva, Ed.) (2nd ed.). Lisboa.
- Ponte, J. P. (2002). Investigar a Nossa Própria Prática. In GTI (Ed.), *Refletir e Investigar Sobre a Prática Profissional* (pp. 5–28). Lisboa: APM.
- Popper, K. (1978). *Three worlds*. University of Michigan. Retrieved from http://tannerlectures.utah.edu/_documents/a-to-z/p/popper80.pdf
- Popper, K. (2005). *The Logic of Scientific Discovery*. New York, NY: Routledge.
- Posner, G. J., & Gertzog, W. A. (1982). The clinical interview and the measurement of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 195–209. doi:10.1002/sce.3730660206
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227.
- Projeto Newton. (2014). Retrieved from <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/prism.php?id=1>
- Pushor, D., & Clandinin, D. J. (2009). The Interconnections between Narrative Inquiry and Action Research. In S. Noffke & B. Somekh (Eds.), *The SAGE Handbook of Educational Action Research* (pp. 290–300). London: SAGE Publications.
- Raftopoulos, A., Kalyfommatou, N., & Constantinou, C. P. (2005). The Properties and the Nature of Light: The Study of Newton's Work and the Teaching of Optics. *Science & Education*, 14(7-8), 649–673. doi:10.1007/s11191-004-5609-6
- Ravanis, K. (1999). Représentations des élèves de l'école maternelle. Le concept de lumière. *International Journal of Early Childhood Education*, 31(1), 41–53.
- Redish, E. F., Saul, J. M., & Steinberg, R. N. (1998). Student expectations in introductory physics. *American Journal of Physics*, 66(3), 212–224. doi:10.1119/1.18847
- Reiner, M., Slotta, J. D., Chi, M. T. H., & Resnick, L. B. (2000). Naive Physics Reasoning : A Commitment to Substance- Based Conceptions. *Cognition and Instruction*, 18(1), 1–34. doi:10.1207/S1532690XCI1801
- Reis, J. C., Guerra, A., Braga, M., & Freitas, J. (2001). History, science and culture: curricular experiences in Brazil. *Science & Education*, 10(1), 369–378. doi:10.1023/A:1011289614116
- Reis, P. (2006). Ciência e educação: Que relação? *Interacções*, 2(3), 160–187.
- Reis, P. (2013). Da Discussão à Ação Sociopolítica sobre Controvérsias Sócio-Científicas: Uma Questão de Cidadania. *Ensino de Ciências E Tecnologia Em Revista*, 3(1), 1–10.

- Reis, P., & Galvão, C. (2004a). Socio-scientific controversies and students' conceptions about scientists. *International Journal of Science Education*, 26(13), 1621–1633. doi:10.1080/0950069042000205413
- Reis, P., & Galvão, C. (2004b). The Impact of Socio-Scientific Controversies in Portuguese Natural Science Teachers' Conceptions and Practices. *Research in Science Education*, 34(2), 153–171. doi:10.1023/B:RISE.0000033760.04656.a1
- Resnick, R., Walker, J., & Halliday, D. (2007). *Fundamentals of Physics* (8th ed.). Wiley.
- Rice, K., & Feher, E. (1987). Pinholes and Images: Children's Conceptions of Light and Vision. I. *Science Education*, 71(4), 629–639.
- Riessman, C. K. (2008). *Narrative Methods for the Human Sciences*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.
- Roberts, D. A. (1982). Developing the Concept of “ Curriculum Emphases ” in Science Education. *Science Education*, 66(2), 243–260. doi:10.1002/sce.3730660209
- Roberts, D. A. (2007). Scientific Literacy/Science Literacy. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research in Science Education* (pp. 729–780). New York, NY: Routledge.
- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Bruxelles.
- Ronchi, V. (1970). *The Nature of Light: A Historical Survey*. London: Heinemann.
- Ronchi, V. (1991). *Optics: The Science of Vision* (p. 360). New York, NY: Dover Publications.
- Roth, W. M., & Désautels, J. (2004). Educating for citizenship: Reappraising the role of science education. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 4(2), 149–168. doi:10.1080/14926150409556603
- Roth, W.-M. (2013). An Integrated Theory of Thinking and Speaking that Draws on Vygotsky and Bakhtin/Vološinov. *Dialogic Pedagogy: An International Online Journal*, 1(2013), 32–53. doi:10.5195/dpj.2013.20
- Rudge, D. W., & Howe, E. M. (2009). An explicit and reflective approach to the use of history to promote understanding of the nature of science. *Science & Education*, 18(5), 561–580. doi:10.1007/s11191-007-9088-4
- Rudolph, J. L. (2003). Portraying epistemology: School science in historical context. *Science Education*, 87(1), 64–79. doi:10.1002/sce.1055
- Rutherford, F. J. (2001). Fostering the History of Science in American Science Education. In F. Bevilacqua, E. Giannetto, & M. Matthews (Eds.), *Science Education and Culture: The Contribution of History and Philosophy of Science*

(Vol. 10, pp. 41–52). Amsterdam: Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-010-0730-6_4

Rye, J. A., & Rubba, P. A. (2000). Student Understanding of global warming – implications for STS education beyond 2000. In D. D. Kumar & D. E. Chubin (Eds.), *Science technology, and society. A sourcebook on research and practice* (pp. 193–230). New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers.

Sabra, A. I. (1963). Newton and the “Bigness” of Vibrations. *Isis*, 54(2), 267 – 268.

Samarapungavan, A., Mantzicopoulos, P., & Patrick, H. (2008). Learning Science Through Inquiry in Kindergarten. *Science Education*, 92(5), 868–908. doi:10.1002/sce.20275

Santos, M. E. (1991). *Mudança Conceptual na Sala de Aula: um Desafio Pedagógico*. Lisboa: Livros Horizonte.

Santos, M. E. (2005). *Que Educação?*. (Santos Edu, Ed.). Lisboa.

Sato, K. (2014). Reconsideration of the Paradox of Inquiry. *Science & Education*, 23(5), 987–995. doi:10.1007/s11191-013-9597-2

Saxena, A. B. (1991). The understanding of the properties of light by students in India. *International Journal of Science Education*, 13(3), 283–289.

Schaffer, S. (1989). Glass works: Newton’s prisms and the uses of experiment. In D. Gooding, J. Pinch, & S. Schaffer (Eds.), *The uses of experiment: Studies in the natural sciences* (pp. 67–104). Cambridge: Cambridge University Press.

Schmitt, C. B. (1973). Towards a Reassessment of Renaissance Aristotelianism. *History of Science*, xi, 159–193.

Schon, D. A. (1983). *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Aldershot: Ashgate Publishing Limited.

Schon, D. A. (1987). *Educating the Reflective Practitioner: Toward a New Design for Teaching and Learning in the Professions*. San Francisco, CA: Jossey-Bass Publishers.

Schratz, M. (1996). Collaborative, Self-critical and Reciprocal Inquiry Through Memory Work. In O. Skeritt-Zuber (Ed.), *New Directions in Action Research* (pp. 66–82). London, UK: The Falmer Press.

Scott, P. (1998). Teacher Talk and Meaning Making in Science Classrooms: a Vygotskian Analysis and Review. *Studies in Science Education*, 32(1), 45–80. doi:10.1080/03057269808560127

Scott, P., Asoko, H., & Leach, J. (2007). Student conceptions and conceptual learning. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 31–56). New York, NY: Routledge.

- Selley, N. J. (1996). Children's ideas on light and vision. *International Journal of Science Education*, 18(6), 713–723.
- Sepper, D. (1988). *Goethe contra Newton: Polemics and the project for a new science of color*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Sepper, D. (2002). Las Controversias de Goethe y la Formación del Carácter Científico. In J. Montesinos, J. Ordóñez, & S. Toledo (Eds.), *Ciencia y Romanticismo* (pp. 104–132). La Orotava: Fundacion Canaria Orotava de Historia de la Ciencia.
- Sequeira, M., & Leite, L. (1988). A História da ciência no ensino – aprendizagem das ciências. *Revista Portuguesa de Educação*, 1(2), 29–40.
- Sérgio, A. (2006). Cartas de problemática. In O. Pombo & J. L. Cordovil (Eds.), 3º *Caderno de filosofia das ciências: As cartas de problemática de António Sérgio* (pp. 29–124). Lisboa: CFCUL.
- Shaffer, S. (1990). Newtonianism. In R. C. Olby, G. N. Cantor, J. R. R. Christie, & M. J. S. Hodge (Eds.), *Companion to the History of Modern Science* (pp. 610–626). New York, NY: Routledge.
- Shamos, M. H. (1995). *The Myth of Scientific Literacy*. New Jersey: Rutgers University Press.
- Shapin, S., & Shaffer, S. (1984). *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. New Jersey: Princeton University Press.
- Shapiro, A. E. (1979). Newton's "Achromatic" Dispersion Law: Theoretical Background and Experimental Evidence. *Archive for History of Exact Sciences*, 21(1975), 91–128.
- Shapiro, A. E. (1980). The Evolving Structure of Newton's Theory of White Light and Color. *Isis*, 71(2), 211–235.
- Shapiro, A. E. (1984a). Experiment and mathematics in Newton's theory of color. *Physics Today*, 37(9), 34. doi:10.1063/1.2916400
- Shapiro, A. E. (1984b). *The Optical Papers of Isaac Newton: The optical lectures, 1670-1672*. (A. E. Shapiro, Ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Shapiro, A. E. (1989). Huygens' "Traite de la Lumiere" and Newton's "Opticks": Pursuing and Eschewing Hypotheses. *Notes and Records of the Royal Society*, 43(2), 223–247. doi:10.1098/rsnr.1989.0016
- Shapiro, A. E. (1994). Artists' Colors and Newton's Colors. *Isis*, 85(4), 600–630. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/235280> .
- Shapiro, A. E. (1996). The Gradual Acceptance of Newton's Theory of Light and Color, 1672-1727. *Perspectives on Science*, 4(1), 59–140.

- Shapiro, A. E. (2008). Twenty-Nine Years in the Making: Newton's Opticks. *Perspectives on Science*, 16(4), 417–438.
- Shayer, M. (2003). Not just Piaget; not just Vygotsky, and certainly not Vygotsky as alternative to Piaget. *Learning and Instruction*, 13(5), 465–485. doi:10.1016/S0959-4752(03)00092-6
- Silva, C. C., & Martins, R. A. (1996). A “Nova Teoria sobre Luz e Cores” de Isaac Newton: uma Tradução Comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 18(4), 413–327.
- Silva, C. C., & Martins, R. A. (2003). A Teoria das Cores de Newton: Um Exemplo do Uso da História da Ciência em Sala de Aula. *Ciência & Educação (Bauru)*, 9(1), 53–65.
- Sjøberg, S. (2002). Perspectives (and second thoughts) on Scientific Literacy. In S. Sjøberg (Ed.), *Three Contributions to Science Education* (pp. 37–74). Oslo: Dept. of Teacher Education and School Development.
- Sjøberg, S., & Schreiner, C. (2010). *The ROSE project: An overview and key findings* (pp. 1–31). Oslo. Retrieved from http://roseproject.no/?page_id=39
- Smith, J. P., DiSessa, A., & Roschelle, J. (2004). Misconceptions Reconceived: A Constructivist Analysis of Knowledge in Transition. *The Journal of the Learning Sciences*, 3(2), 115–163.
- Solbes, J., & Traver, M. (2003). Against a Negative Image of Science: History of Science and the Teaching of Physics and Chemistry. *Science & Education*, 12(7), 703–717. doi:10.1023/A:1025660420721
- Solomon, J. (1994). Knowledge, Values, and the Public Choice of Science Knowledge. In J. Solomon & G. S. Aikenhead (Eds.), *STS Education: International Perspectives on Reform* (pp. 99–110). New York, NY: Teachers College Press.
- Solomon, J. (1998). The Science Curricula of Europe and the Notion of Scientific Culture. In D. A. Roberts & L. Ostman (Eds.), *Problems and Meaning in Science Curriculum*. New York, NY: Teachers College Press.
- Solomon, J. (1999). Meta-scientific criticisms, curriculum innovation and the propagation of scientific culture. *Journal of Curriculum Studies*, 31(1), 1–15. doi:10.1080/002202799183269
- Somekh, B., & Zeichner, K. (2009). Action research for educational reform: remodelling action research theories and practices in local contexts. *Educational Action Research*, 17(1), 5–21. doi:10.1080/09650790802667402
- Stanley, W. B., & Brickhouse, N. W. (1994). Multiculturalism, Universalism, and Science Education. *Science Education*, 78(4), 387–398. doi:10.1002/sce.3730780405
- Stanley, W. B., & Brickhouse, N. W. (1995). Science education without foundations: A response to loving. *Science Education*, 79(3), 349–354. doi:10.1002/sce.3730790310

- Stenhouse, L. (1967). *Culture and Education*. Melbourne: Thomas Nelson and sons.
- Straker, S. (1981). Kepler, Tycho, and the “Optical Part of Astronomy”: the genesis of Kepler’s theory of pinhole images. *Archive for History of Exact Sciences*, 24(4), 267–293.
- Strike, K. A., & Posner, G. J. (1992). A Revisionist Theory of Conceptual Change. In R. A. Duschl & R. J. Hamilton (Eds.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice* (pp. 147–176). Albany: State University of New York Press.
- Sutinen, A. (2007). Constructivism and education: education as an interpretative transformational process. *Studies in Philosophy and Education*, 27(1), 1–14. doi:10.1007/s11217-007-9043-5
- Sutton, C. R. (1992). *Words, Science and Learning*. Bristol, PA: Open University Press.
- Taber, K. S. (2010). Stella Vosniadou (Ed): International Handbook of Research on Conceptual Change. *Science & Education*, 20(5-6), 563–576. doi:10.1007/s11191-010-9283-6
- Teddlie, C., & Tashakkori, A. (2003). Major issues and controversies in the use of mixed methods in the social and behavioural sciences. In A. Tashakkori & C. Teddlie (Eds.), *Handbook of mixed methods in social and behavioural research* (pp. 3–50). Thousand Oakes, CA: Sage.
- Tenenbaum, H. R., Rappolt-Schlichtmann, G., & Zanger, V. V. (2004). Children’s learning about water in a museum and in the classroom. *Early Childhood Research Quarterly*, 19(1), 40–58. doi:10.1016/j.ecresq.2004.01.008
- Thagard, P. R. (1978). The best explanation: Criteria for theory choice. *The Journal of Philosophy*, 75(2), 76–92.
- Thoren, V. E. (1973). New light on Tycho’s instruments. *Journal for the History of Astronomy*, iv, 25–45.
- Tiberghien, A. (1996). Construction of prototypical situations in teaching the concept of energy. In G. Welford, J. Osborne, & P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe. Current issues and themes* (pp. 100–114). London: The Falmer Press.
- Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, J. Leach, & J. Oesborne (Eds.), *Improving science education: the contribution of research* (pp. 27–47). Buckingham: Open University Press.
- Tiberghien, A., Psillos, D., & Koumaras, P. (1995). Physics instruction from epistemological and didactical bases. *Instructional Science*, 22(1), 423–444.
- Tobin, K. (2007). Key contributors: Ernst von Glasersfeld’s radical constructivism. *Cultural Studies of Science Education*, 2(3), 529–538. doi:10.1007/s11422-007-9066-9

- Toh, K.-A., Boo, H.-K., & Woon, T.-L. (1999). Students' perspectives in understanding light and vision. *Educational Research*, 41(2), 155–162. doi:10.1080/0013188990410203
- Tseitlin, M., & Galili, I. (2005). Physics Teaching in the Search for Its Self. *Science & Education*, 14(3-5), 235–261. doi:10.1007/s11191-004-7943-0
- Tseitlin, M., & Galili, I. (2006). Science Teaching: What Does It Mean? *Science & Education*, 15(5), 393–417. doi:10.1007/s11191-005-8261-x
- Tseng, C.-H., Tuan, H.-L., & Chin, C.-C. (2012). How to Help Teachers Develop Inquiry Teaching: Perspectives from Experienced Science Teachers. *Research in Science Education*, 43(2), 809–825. doi:10.1007/s11165-012-9292-3
- Uzun, S., Alev, N., & Karal, I. S. (2013). A cross-age study of an understanding of light and sight concepts in physics. *Science Education International*, 24(2), 129–149.
- Valente, B., Maurício, P., & Teodoro, A. (2012). What kind of interaction is accomplished during the construction of a wiki? In *Atas do II Congresso Internacional TIC e Educação* (pp. 2820–2833). Lisboa.
- Valente, M. J. P. (1999). *Uma leitura pedagógica da construção histórica do conceito de energia*. Universidade Nova de Lisboa.
- Vasconcelos, T. (1997). *Orientações Curriculares para a Educação Pré-Escolar*. Lisboa: Editorial do Ministério da Educação.
- Vechi, A. de, Brito, A. F. de, Valentim, D. B., Gozzi, M. E., Sampaio, A. R., & Viscovini, R. C. (2013). Modelo dinâmico do Sistema Solar em actionscript com controle de escalas para ensino de astronomia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(2), 1–25. doi:10.1590/S1806-11172013000200025
- Veiga, M. L. (2003). Formar para um conhecimento emancipatório pela via da educação em ciência. In I. Martins, J. Sá, M. Jorge, & F. Teixeira (Eds.), *Formar para a educação em ciências na educação pré-escolar e no 1º Ciclo do ensino básico*. Coimbra: IPC.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 205–221.
- Viennot, L. (2003). *Teaching Physics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Viennot, L., Chauvet, F., Colin, P., & Rebmann, G. (2005). Designing strategies and tools for teacher training: The role of critical details, examples in optics. *Science Education*, 89(1), 13–27. doi:10.1002/sce.20040
- Viennot, L., & Hosson, C. (2012). Beyond a Dichotomic Approach , The Case of Colour Phenomena. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1315–1336.
- Viennot, L., & Kaminski, W. (2006). Can we Evaluate the Impact of a Critical Detail? The Role of a Type of Diagram in Understanding Optical Imaging. *International*

Journal of Science Education, 28(15), 1867–1885.
doi:10.1080/09500690600620979

- Von Glasersfeld, E. (1995). A Constructivist Approach to Teaching. In L. P. Steffe & J. E. Gale (Eds.), *Constructivism in Education* (pp. 3–16). Hillsdale, NJ: Laurence Erlbaum Associates.
- Vos, W. De, & Reiding, J. (1999). Public understanding of science as a separate subject in secondary schools in The Netherlands. *International Journal of Science Education*, 21(7), 711–719. doi:10.1080/095006999290372
- Vosniadou, S. (1991). Designing curricula for conceptual restructuring: Lessons from the study of knowledge acquisition in astronomy. *J. Curriculum Studies*, 23(3), 219–237.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45–69. doi:10.1016/0959-4752(94)90018-3
- Vosniadou, S. (2014). Examining cognitive development from a conceptual change point of view: The framework theory approach. *European Journal of Developmental Psychology*, 11(6), 645–661. doi:10.1080/17405629.2014.921153
- Vosniadou, S., & Ioannides, C. (1998). From conceptual development to science education: a psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1213–1230. doi:10.1080/0950069980201004
- Vosniadou, S., & Skopeliti, I. (2014). Conceptual Change from the Framework Theory Side of the Fence. *Science & Education*, 23(7), 1427–1445. doi:10.1007/s11191-013-9640-3
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2009). The Framework Theory Approach to Problem of Conceptual Change. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 3–34). London, UK: Routledge.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society - The Development of Higher Psychological Processes*. (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman, Eds.). Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Wang, H. A., & Marsh, D. D. (2002). Science Instruction with a Humanistic Twist: Teachers' Perception and Practice in Using the History of Science in Their Classrooms. *Science & Education*, 11(2), 169–189. doi:10.1023/A:1014455918130
- Wells, G. (2009). Dialogical Inquiry as Collaborative Action Research. In S. E. Noffke & B. Somekh (Eds.), *The Sage Handbook of Educational Action Research* (pp. 50–61). Thousand Oakes, CA: SAGE Publications.
- Westfall, R. S. (1980). *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- Westfall, R. S. (2003). *A Construção da Ciência Moderna. Mecanismos e Mecânica*. Porto: Porto Editora.
- Wragg, E. C. (1997). *An introduction to classroom observation* (2nd ed.). London: Routledge.
- Yalaki, Y., & Cakmakci, G. (2010). A conversation with Michael R. Matthews: The contribution of history and philosophy of science to science teaching and research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 6(4), 287–309.
- Yalcin, M., Altun, S., Turgut, U., & Aggöl, F. (2008). First Year Turkish Science Undergraduates' Understandings and Misconceptions of Light. *Science & Education*, 18(8), 1083–1093. doi:10.1007/s11191-008-9157-3
- Yin, R. K. (2014). *Case Study Research: Design and Methods*. Thousand Oakes, CA: SAGE Publications.
- Young, T. (1802). The Bakerian Lecture . On the Theory of Light and Colours. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 92(1802), 12–48.
- Zee, E., & Minstrell, J. (1997). Using questioning to guide student thinking. *The Journal of the Learning Sciences*, 6(2), 227–269.
- Zeichner, K. (1993). *A Formação Reflexiva de Professores: Ideias e Práticas*. Lisboa: EDUCA - Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação.
- Zeichner, K. (1996). Teachers as Reflective Practitioners and the Democratization of School Reform. In K. Zeichner, S. Melnick, & M. L. Gomez (Eds.), *Currents of Reform in Preservice Teacher Education* (pp. 199–234). New York, NY: Teachers College Press.
- Zeller, N. (1995). Narrative strategies for case reports. In J. A. Hatch & R. Wisniewski (Eds.), *Life History and Narrative* (pp. 75–88). London: The Falmer Press.
- Zeni, J. (2009). Ethics and the “Personal” in Action Research. In S. Noffke & B. Somekh (Eds.), *The SAGE Handbook of Educational Action Research* (pp. 254–266). Thousand Oakes, CA: Sage.
- Zhou, G. (2010). Conceptual Change in Science : A Process of Argumentation. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 6(2), 101–110.
- Ziman, J. (2000). *Real Science: What it is, and What it Means*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Zwozdiak-Myers, P. (2012). *The Teacher's Reflective Practice Handbook*. New York, NY: Routledge.

