Currículos de Nível Elevado no Ensino das Ciências

Seminários
e Colóquios

CNE
CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO

CURRÍCULOS DE NÍVEL ELEVADO NO ENSINO DAS CIÊNCIAS

CNE CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO

As opiniões expressas nesta publicação são da responsabilidade dos autores e não refletem necessariamente a opinião ou orientação do Conselho Nacional de Educação.

Título: Currículos de Nível Elevado no Ensino das Ciências

[Textos dos Seminários realizados no CNE a 27 de outubro de 2014, 12 de janeiro de 2015 e 2 de março de 2015]

Edição: Conselho Nacional de Educação

Direção: José David Justino (Presidente do Conselho Nacional de Educação)

Coordenação: Manuel Miguéns (Secretário-Geral do Conselho Nacional de Educação)

Organização e edição: Sílvia Ferreira

Coleção: Seminários e Colóquios

Edição Eletrónica: novembro de 2015

ISBN: 978-972-8360-92-4

© CNE – Conselho Nacional de Educação
Rua Florbela Espanca – 1700-195 Lisboa
Telefone: 217 935 245
Endereço eletrónico: cnedu@cnedu.pt
Sítio: www.cnedu.pt

SUMÁRIO

Nota prévia 7

Secretário-Geral do Conselho Nacional de Educação
Manuel Miguéns

Abertura 12

Presidente do Conselho Nacional de Educação
José David Justino

Introdução 19

Ana Maria Morais
Isabel Pestana Neves
Sílvia Ferreira
Margarida Afonso
Preciosa Silva
Leonor Saraiva
Sílvia Castro

PARTE I 23
Conhecimentos e capacidades em currículos

Conceptualising curricula as a form of specialised knowledge 24

Michael Young

Conceptualização dos conhecimentos e das capacidades em currículos 36
Pressupostos teóricos e modelos de análise 36
Análise de currículos – *Workshop* 55
Resultados da investigação 66

Sílvia Ferreira
Ana Maria Morais
Isabel Pestana Neves
Margarida Afonso
Preciosa Silva

PARTE II 83
O trabalho prático na aprendizagem científica

Developing students' understanding of science: The role of practical work 84
Robin Millar

Trabalho prático em currículos e práticas pedagógicas 104
Conceptualização e modelos de análise 104
Análise de atividades laboratoriais – *Workshop* 123
Resultados da investigação 135
Sílvia Ferreira
Ana Maria Morais
Isabel Pestana Neves
Margarida Afonso
Preciosa Silva

PARTE III 155
Construção da ciência e literacia científica

Naturalizing the nature of science for school science 156
Richard Duschl

Conceptualização da construção da ciência em currículos e manuais escolares 180
Fundamentos e modelos de análise 180
Análise de currículos e de manuais escolares – *Workshop* 205
Resultados da investigação 217
Sílvia Ferreira
Ana Maria Morais
Isabel Pestana Neves
Leonor Saraiva
Sílvia Castro

PARTE IV 239
Elevar o nível da educação científica

Algumas propostas de intervenção pedagógica 240
Conceptualização do conhecimento científico 242
Conceptualização das capacidades de processos científicos 254
Conceptualização da construção da ciência 267

Ana Maria Morais
Isabel Pestana Neves
Sílvia Ferreira
Margarida Afonso
Preciosa Silva
Leonor Saraiva
Sílvia Castro

NOTA PRÉVIA

Manuel Miguéns[1]

Quando das primeiras reuniões do Conselho Nacional de Educação, sob a presidência do Professor David Justino, ainda em 2013, já o novo presidente do CNE procurava trazer para a agenda do Conselho algumas questões que considerava prioritárias para a educação em Portugal. Se a avaliação, nas suas variadas dimensões, ganhou algum relevo no início do mandato do presidente, uma nova temática, por certo igualmente complexa e decisiva para a melhoria da educação, teve honras de cuidada preparação com apoio externo. Refiro-me a questões como a promoção da cultura científica e o nível conceptual dos currículos de ciência.

Para tratar estas questões, o CNE solicitou, em março de 2014, a prestimosa colaboração da Professora Ana Maria Morais que concebeu, com a sua equipa de investigação, um conjunto de três seminários e workshops sob o tema genérico – currículos de nível elevado no ensino das ciências. Esta temática subdividiu-se em três vertentes principais: a conceptualização do conhecimento e das capacidades, o trabalho prático no ensino das ciências e as perspetivas sobre a construção do conhecimento científico.

Com este conjunto de iniciativas, o CNE procurou contribuir para a promoção da cultura científica, para além de incentivar a reflexão e o debate sobre a natureza e exigência conceptual dos currículos de ciência, sobre o recurso às atividades práticas no ensino das ciências e sobre a compreensão que temos do modo como se constrói o conhecimento científico. Desta forma, havia que considerar, a exigência conceptual, a complexidade do conhecimento e das capacidades a desenvolver, tanto a nível do currículo formal como nas opções didáticas e na imagem de ciência que se transmite.

Tendo em consideração a pertinência da temática para os professores de ciências dos vários níveis de escolaridade e reconhecendo a importância da sua valorização profissional através da formação contínua, a realização

[1] Secretário-Geral do Conselho Nacional de Educação

deste ciclo de seminários contou também com a colaboração do Centro de Formação Pêro de Alenquer que assegurou a acreditação da iniciativa e a certificação formal dos professores que a frequentaram com sucesso.

O primeiro dos três seminários cuja documentação aqui se publica, dedicado à conceptualização do conhecimento e das capacidades, procurou analisar os pressupostos teóricos (epistemológicos, psicológicos e sociológicos) subjacentes a currículos portugueses atuais e outros materiais curriculares, para além de apresentar resultados de investigação e discutir propostas didáticas no âmbito desta temática.

A conferência de abertura deste seminário foi proferida pelo Professor Michael Young que desenvolveu a ideia de um currículo baseado no conceito de conhecimento poderoso para todos ("powerful knowledge") em oposição ao conhecimento dos poderosos ("knowledge of the powerful") e ao conhecimento para os poderosos ("knowledge for the powerful") que têm dominado alguns cenários curriculares.

O segundo seminário desta trilogia procurou refletir sobre a mensagem que os currículos de ciência transmitem quando referem o trabalho prático como sugestão metodológica e o desenvolvimento de capacidades investigativas como objetivo.

O trabalho prático tem sido especialmente recomendado no ensino das ciências desde o século XIX. Porventura, altamente recomendado e pouco praticado. Apesar de existir uma espécie de crença no valor pedagógico do trabalho prático, alguns autores consideram que as práticas ficam aquém dos benefícios educativos que lhes são atribuídos. Por outro lado, a questão central não será tanto a de se fazer mais ou menos trabalho prático nas aulas de ciências, mas a de ter objetivos claros e fazer escolhas criteriosas das atividades pela sua natureza e pela exigência conceptual que as mesmas encerram. É, portanto, a qualidade das abordagens que está em causa.

Publicam-se, sobre este tema, os textos teóricos usados para fundamentar a importância do trabalho prático no contexto da aprendizagem da ciência,

bem como resultados de investigação realizada e propostas de intervenção pedagógica.

O enquadramento desta temática foi feito pela conferência do Professor Robin Millar que discutiu o papel do trabalho prático no desenvolvimento da compreensão dos alunos sobre a ciência. Para tanto, procurou mostrar como o trabalho prático pode ajudar a estabelecer a ligação entre dois domínios do conhecimento: o domínio dos objetos, do observável, e o domínio das ideias, do pensamento. Concluiu a sua conferência com uma abordagem dos diferentes tipos de atividades práticas e das formas que nos permitem tornar o trabalho prático mais eficaz em termos pedagógicos.

O terceiro seminário centra-se na importância que o ensino/aprendizagem dos aspetos relativos à construção da ciência tem na promoção da literacia e da cultura científica. A abordagem das questões relacionadas com a natureza da ciência, com as formas e métodos de trabalho dos cientistas, com o modo como se constrói o conhecimento científico, ganharam relevância curricular na segunda metade do século passado e passaram a fazer parte das sugestões programáticas e metodológicas do ensino das ciências. As perspetivas CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) de educação em ciência são exemplo desta tendência e acentuam uma dimensão de educação para a cidadania no ensino das ciências.

Os textos que ora se publicam relativamente a estes temas incluem a referência aos modelos teóricos que têm orientado a conceptualização da construção da ciência, a resultados de investigação e a propostas de intervenção didática.

O texto da conferência inaugural deste seminário, da autoria do Professor Richard Duschl, trata de propor a "naturalização da natureza da ciência na ciência escolar", isto é, tornar a natureza da ciência inteligível nos currículos escolares de ciência, de forma a que os alunos desenvolvam uma perspetiva sólida sobre o modo como a ciência se faz. Recorrendo a uma perspetiva histórica, tanto a nível da evolução das ideias sobre a natureza da ciência como no que concerne à educação em ciência, Richard Duschl defende o envolvimento dos alunos em trabalhos de natureza investigativa, incluindo investigações estruturadas pelo professor e outras

que emergem das questões dos alunos, encorajando-os a decidir sobre os dados a recolher, as variáveis a controlar e os instrumentos a usar. Sempre de forma a proporcionar aos alunos experiências que os ajudem a adquirir "conhecimento conceptual", "conhecimento procedimental" e "conhecimento epistémico", para além de desenvolverem uma perspetiva de "conhecimento problemático" do "inquiry" (investigação científica).

Com a publicação deste livro sobre os currículos de nível elevado no ensino das ciências encerra-se uma primeira fase dos trabalhos do Conselho Nacional de Educação em torno da promoção da cultura científica e de uma abordagem curricular conceptualmente exigente ("powerful knowledge for all"), mas não se esgota a reflexão e o debate no seio do CNE sobre a importância destas temáticas para a melhoria da educação em Portugal.

Uma palavra ainda para o meritório trabalho das Professoras Ana Maria Morais e Isabel Neves, que com a sua equipa (Sílvia Ferreira, Margarida Afonso, Preciosa Silva, Leonor Saraiva e Sílvia Castro), conceberam estas iniciativas respondendo ao desafio que o presidente do CNE lhes havia proposto em março de 2014.

ABERTURA

José David Justino[1]

O Conselho Nacional de Educação entendeu promover um ciclo de seminários dedicados à temática *currículos de nível elevado no ensino das ciências*. Esta iniciativa resulta de uma colaboração com a equipa da Professora Ana Maria Morais e da Professora Isabel Neves, do Instituto de Educação da Universidade de Lisboa.

Na história do Conselho Nacional de Educação há já um trabalho reconhecido de promoção do debate e de estudo em torno das questões gerais da educação. Permitam-me que destaque esta iniciativa, porque ela resulta de um objetivo que colocámos no início deste mandato que era de trabalhar em conjunto com os centros de investigação das diversas universidades e institutos politécnicos em Portugal, de forma a valorizar o próprio trabalho do CNE. Esse trabalho não pode ser valorizado só pela capacidade de emitir opiniões. Tem de ter também a capacidade de expressar uma voz interventiva, técnica e cientificamente sustentada. Sempre disse que o papel do Conselho será tanto mais valorizado e reconhecido quanto mais entrar no domínio do conhecimento fundamentado, saindo do domínio do senso comum. É isso que é importante. Esse conhecimento é produzido e dominado, obviamente, pelas instituições do ensino superior e pelos grupos de investigadores. Esta cooperação entre investigação e aquilo que é a nossa missão contribui para a construção das políticas públicas de educação, dotando-nos de fundamento e de conhecimento suscetível de poder influenciar essas mesmas políticas públicas.

O Conselho Nacional de Educação é uma instituição cuja missão é aconselhar os órgãos do Estado relativamente às questões da educação. Esse aconselhamento não pode ser produzido a partir do nada, pelo que precisamos de, entre nós, debater as grandes questões da educação. Esse debate só é possível se houver, ou tiver havido, trabalho de investigação e reflexão fundamentada. Portanto, este é o primeiro passo para que durante

[1] Presidente do Conselho Nacional de Educação.

os próximos anos possamos continuar a refletir sobre os grandes desafios que se colocam à educação em Portugal. É a ideia de habituar as pessoas a refletirem em conjunto e a transformarem esta casa, naquilo que costumo chamar, a *casa comum da educação*. Onde as pessoas se possam sentir à vontade, trazer os seus contributos, virem aprender, virem discutir, virem refletir em conjunto. Nesse sentido, se conseguirmos fazer isso, a missão está cumprida.

Quero, assim, agradecer à Professora Ana Maria Morais e à Professora Isabel Neves a disponibilidade imediata para colaborarem com o CNE e à Doutora Sílvia Ferreira, pela organização destes seminários. É para nós uma grande honra poder contar com a vossa colaboração, não só pelo valor que representa, pela inovação que sempre marcou o vosso trabalho académico, mas acima de tudo por se disporem a colocar o conhecimento adquirido e desenvolvido na investigação, na reflexão em torno das políticas e em torno do que deve ser a educação do futuro. É interessante porque tive a oportunidade de dizer que talvez o principal défice da educação em Portugal seja a falta de sentido de futuro. Porque, por maioria de razão, a educação é portadora de futuro. Ao sabermos o tempo que as crianças passam nas escolas, nos colégios, e noutras instituições de ensino e formação, deveríamos começar a pensar em saber como é que vamos prepará-los para que eles possam enfrentar o mundo daqui a dez, quinze, vinte anos, e não para enfrentar o mundo amanhã, porque com isso elas já têm contacto. Numa abordagem prospetiva, eu entendo que este seminário é uma combinação daquilo que se faz na investigação em Portugal sobre o ensino das ciências. Por isso, o desafio que temos pela frente é um desafio entusiasmante.

Este ciclo de seminários contou igualmente com a participação de peritos externos, como o Professor Michael Young, que esteve presente no primeiro seminário, sobre a conceptualização do conhecimento e das capacidades, o Professor Robin Millar, presente no segundo seminário, sobre o trabalho prático na aprendizagem científica, e o Professor Richard Duschl, presente no terceiro seminário, dedicado à construção da ciência e da literacia científica.

Com a conferência do Professor Richard Duschl, iniciámos uma colaboração com a Fundação Luso-Americana, que nos vai permitir trazer a Portugal, todos os anos, três investigadores e três especialistas americanos para colaborar com o Conselho Nacional de Educação. Com o apoio da FLAD, vamos conseguir dar continuidade a este tipo de iniciativas, trazendo especialistas e professores americanos. Este é um contributo que teremos o cuidado de gerir com a maior atenção porque, face ao leque de possibilidades, vamos ter de escolher muito bem quem é que queremos trazer.

Estes seminários preenchem um dos objetivos que me propus cumprir quando assumi a presidência deste Conselho, que é o de abordar os problemas da cultura científica nos ensinos básico e secundário. Tinha a preocupação de poder valorizar e contribuir para o desenvolvimento da cultura científica, em geral, e em especial da cultura científica dentro do sistema educativo. Preocupa-me, não tanto o problema do domínio dos conceitos, embora seja um fator importante, mas acima de tudo, a forma como poderemos fazer chegar aos nossos alunos as maneiras de pensar cientificamente conduzidas, mesmo que não sejam da chamada ciências exatas. Preocupa-me, no particular caso das ciências sociais, a forma como a investigação se tende a afastar das regras mais elementares da metodologia científica. Existe uma impregnação da ideologia sobre o conhecimento. Embora a ideologia seja uma forma de conhecimento, não creio que a possamos misturar, ou seja, a crença não se dá bem com a ciência. Nesse sentido, julgo que tudo o que pudermos fazer na valorização do ensino das ciências, entre os nossos alunos, desde o pré-escolar até ao ensino superior, é importante, dado que não basta enunciar conceitos de base curricular, sem sabermos muito bem como é que eles são apropriados nos diferentes níveis e nos diferentes contextos. Esse fenómeno da recontextualização obriga-nos também a verificar que não basta ter boas intenções quando definimos metas ou quando definimos programas; é necessário saber como é que essas intenções são apropriadas desde o manual, a sala de aula, o grupo profissional, senão estamos a iludir-nos sobre aquilo que se faz e aquilo que gostaríamos sempre de fazer e que nunca conseguimos.

Há alguma concordância no facto da sociedade portuguesa ter um défice de cultura científica relativamente acentuado. Isto é algo que não são só os cientistas a dizerem, mas muitas pessoas reconhecem que, nesta construção da modernidade portuguesa, a dimensão da cultura científica foi algo que sempre foi difícil de concretizar. Desde o século XIX, nas primeiras tentativas de incutir os princípios daquilo que é o conhecimento científico, sempre houve algum confinamento; ou seja, existem pessoas, existem instituições, desde a Academia Real das Ciências, mas depois torna-se evidente a dificuldade de difundir o conhecimento científico até aos níveis mais elementares da sociedade. Esse dado de ordem estrutural ainda é hoje um dos problemas que enfrentamos. Considero que a instituição escolar ainda é o melhor veículo de difusão dessa cultura científica, com dificuldades, mas também com alguns incentivos e com alguns desafios.

Não está de parte, como é natural, que o Conselho Nacional de Educação possa vir a pronunciar-se no futuro sobre o ensino das ciências e, acima de tudo, sobre a cultura científica. E para isso, não só estes seminários, mas também os vossos contributos e a vossa presença é para nós muito importante, pois permite ao Conselho Nacional de Educação recolher o máximo de informação e de contributos para desenvolver esta reflexão. Não temos meios que nos permitam fazer grande investigação. Assim, decorre muito da vossa experiência, do vosso testemunho e da vossa participação, a recolha da informação e dos elementos de reflexão estruturante que nos possam ajudar a emitir os pareceres e que nos possam ajudar também a fazer as recomendações ao Ministério, nomeadamente sobre o currículo do ensino das ciências.

Também entendemos que este currículo deve ser estendido desde o pré-escolar até ao 12.º ano, ou seja, não é só quando começamos a ter uma organização disciplinar. O desenvolvimento da cultura científica tem que vir de trás. Esta ideia tem em grande parte a ver com uma coisa muito simples, que dizia o meu mestre Vitorino Magalhães Godinho, "o que conta não é só o conhecimento, é a forma como nós utilizamos esse conhecimento", ou seja, as maneiras de pensar cientificamente conduzidas. O problema não está em deter conhecimento, está na forma como

pensamos em ciência, como utilizamos a ciência nesse processo de construção de novo conhecimento.

Segundo aspeto que também é importante é que a análise do currículo não pode estar sujeita à dimensão ideológica. Muitas vezes, andamos centrados sobre o problema de *como* ensinar e raramente discutimos *o que* ensinar; ou seja, a ideia do currículo, que currículo, que conhecimento, é algo que é uma discussão que deve ser feita. Essa discussão deve ser sustentada numa reflexão reservada, parcimoniosa e partilhada entre os vários profissionais da educação.

O currículo é a forma racionalizada de organizar o conhecimento, nomeadamente aquele conhecimento que entendemos como conhecimento socialmente válido e reconhecido. Quando dizemos o que se ensina e o que não se ensina e dizemos que é mais importante ensinar isto ou ensinar aquilo, estamos a utilizar um poder enorme. Porque é esse o motor de funcionamento da instituição educativa. E não pode passar como algo de intocável, neutro, e é reconhecendo a não neutralidade, que acentuamos a dimensão ideológica desse mesmo currículo. Então aí as coisas começam a ser mais complicadas, pois entramos claramente, não só nas discussões estéreis que não resolvem nada, mas acima de tudo desligamo-nos daquilo que é a função primordial da escola, que tende a reproduzir valores, tende a reproduzir muitas vezes preconceitos mas não pode largar aquilo que é a sua base: a sustentação racional e científica, que tem feito a escola moderna. A escola da modernidade é uma escola que assenta todos os seus valores nos princípios da racionalidade, da ciência porque, quer queiramos quer não, a ciência é o conhecimento socialmente mais válido desde o século XIX até hoje.

Por último, quero referir a importância que estes seminários podem ter no que diz respeito aos desafios que se colocam sobre a formação de professores, quer a formação inicial, quer a formação contínua. A primeira, olhando para o quadro global, preocupa-me bastante. A outra praticamente não existe. Mas é precisamente o facto de não existir que me preocupa, porque não se pode estar sempre a alterar os programas ou os manuais ou a introduzir metas ou *standards*, e depois não fazer

acompanhar essas ações por formação contínua, para que essa mudança seja mais sustentada e acima de tudo para que não seja retórica. Uma parte desta mudança será retórica e voltamos novamente às boas intenções; ora o que me interessa são bons resultados. Intenções todos temos, resultados escasseiam. A escola, nesse aspeto, é uma instituição muito conservadora e muda muito lentamente.

É nessa perspetiva que este ciclo de seminários, com os *workshops*, com a forma de trabalhar e de analisar, é extremamente estimulante. Sentimos a necessidade de chegarmos a um número significativo de professores que estão a confrontar-se com este tipo de problemas e sem ninguém para os apoiar, ou pelo menos, para lhes permitir o acesso mais regular a este tipo de reflexão. Nesse sentido quero agradecer a todos e dizer que se calhar vamos ter de pensar em repetir a experiência, provavelmente com outros desafios, mas da parte do CNE existe a maior disponibilidade em podermos voltar, daqui a uns tempos, a retomar estas temáticas. Desejaria que também fossem portadores desta preocupação que o CNE tem de contribuirmos com conhecimento válido e também com conhecimento científico e investigação na construção de políticas inovadoras e rigorosas. Desta forma, gostaria de passar da fase dominante do ‘eu acho que’ para a fase dominante do ‘eu penso que’. Quando conseguirmos isso, demos um salto enorme. Muito obrigado pela vossa presença.

INTRODUÇÃO

Ana Maria Morais[1]
Isabel Pestana Neves[1]
Sílvia Ferreira[1]
Margarida Afonso[1]
Preciosa Silva[1]
Leonor Saraiva[1]
Sílvia Castro[1]

O presente livro contém textos que mostram, de forma estruturada e mais detalhada, as apresentações feitas nos três seminários organizados pelo Grupo ESSA (Estudos Sociológicos da Sala de Aula)[2]. Os seminários tiveram como tema central *Currículos de nível elevado no ensino das ciências,* o qual foi tratado a vários níveis de escolaridade (do 1.º ciclo do ensino básico ao ensino secundário) e com referência a vários textos curriculares (programas, manuais escolares, exames nacionais e práticas pedagógicas).

Cada um dos seminários centrou-se em tópicos específicos relacionados com o tema central. O primeiro incidiu, em particular, na *Conceptualização do conhecimento e das capacidades,* o segundo abordou *O trabalho prático na aprendizagem científica* e o terceiro focou-se na *Construção da ciência e literacia científica.*

Seguiu-se uma organização semelhante para a realização dos três seminários, tendo-se usado a seguinte sequência:

1. Conferência plenária, proferida por um investigador estrangeiro, centrada no tópico do seminário.
2. Sessão plenária, apresentada por investigadoras do Grupo ESSA, em que foram primeiramente referidos pressupostos teóricos, subjacentes ao tópico em discussão, seguindo-se a descrição e exemplificação de

[1] Investigadoras do Grupo ESSA (ver notas biográficas).

[2] Grupo de investigação do Instituto de Educação da Universidade de Lisboa.

modelos e instrumentos de análise usados em trabalhos de investigação do grupo.

3. *Workshop*, orientado por investigadoras do Grupo ESSA, para aplicação, em análise de textos educativos, de modelos e instrumentos apresentados na sessão plenária antecedente.
4. Sessão plenária, igualmente assegurada por investigadoras do Grupo ESSA, em que foram primeiramente apresentados e discutidos resultados de investigação de estudos empíricos realizados pelo grupo sobre o respetivo tópico, a que se seguiu a descrição e exemplificação de uma proposta de intervenção pedagógica com potencialidades de ser usada em contexto de sala de aula, tendo como referencial um ensino/aprendizagem conceptualmente exigente.

O livro está organizado em quatro partes. As três primeiras incluem os textos relativos a cada seminário e pela ordem em que foram apresentados, mas não contêm os textos relativos às propostas de intervenção. Estas foram colocadas numa quarta parte do livro pois, apesar de se centrarem em tópicos específicos diferentes, em função do respetivo seminário, têm em comum o mesmo tema científico – fotossíntese e relação com a respiração – e abordam aspetos que se entrecruzam e se complementam entre si.

As propostas apresentadas constituem, além disso, textos que podem ser analisados com maior autonomia em relação aos outros textos do livro e que, ao traduzirem situações associadas à prática pedagógica, têm maior valor de aplicabilidade. Contudo, isto não significa que se ignore ou se dê pouca importância aos textos de cariz mais teórico, que tratam fundamentalmente dos aspetos conceptuais e dos resultados de investigação, porque são esses textos que permitem compreender a razão e o sentido da aplicabilidade das propostas.

Cabe aos professores e formadores de professores e também aos construtores de currículos e de manuais escolares, interessados em melhorar o ensino das ciências, tirar partido não só das propostas mas também dos respetivos fundamentos teóricos e modelos de análise, através

de uma reflexão séria e partilhada pelos seus pares. Foi este o objetivo fundamental que, a convite do Conselho Nacional de Educação, nos levou a organizar e orientar os seminários e a divulgá-los em livro.

Os seminários resultaram de um trabalho de equipa em todas as suas fases, desde as apresentações até à escrita do presente livro. A ordem das autoras em cada uma das partes pretende conjugar critérios como ordem alfabética, conceptualização, construção de apresentações orais e escritas e contribuição para o trabalho comum.

PARTE I

CONHECIMENTOS E CAPACIDADES EM CURRÍCULOS

CONCEPTUALISING CURRICULA AS A FORM OF SPECIALISED KNOWLEDGE

Michael Young[1]

I was very excited when I saw that the programme being promoted by the National Council for Education was titled "High level curricula for all" and sub-titled "Conceptualising knowledge and skills". Both themes go to the heart of what I and those I work with – mostly not in my own Institute – have been focusing in recent years. What I want to do today is to share with you some of the ways that I have approached these issues. You have had access to and some of you have read the main published papers. So I am focussing today on the background thinking that shaped them. When I thought about your theme in sociological not political terms, it could hardly be more radical. The education systems of most countries are not based on the principle of "High level curricula for all" and few would know what such a concept might mean. Most countries, as in England have some form of *high level curriculum* that has developed historically as a tradition – in England after World War 2, it was envisaged for between 10 and 20% of each cohort. This included between 5 and 7% attending private fee-paying schools (in England known ironically as Public Schools), and the remainder being those who passed a test at the age of 11 for entry to grammar schools. This percentage has expanded to about 30-40% of each cohort who either go on to university or are eligible to. The rest get are split, in comprehensive schools between those on some kind of technical course and the remainder who follow what became known as a pre-vocational curriculum – not academic, and not specifically oriented to any occupation. This inequality is represented as differentiation rationalised in terms of assumptions about the distribution of abilities, interests and motivation. It has led sociologists to explain the purpose of schools and their curriculum as primarily ideological – legitimating, through the distribution of knowledge, existing and in the last decade, growing social inequalities.

[1] UCL Institute of Education (see biographical notes).

A concept that I have found useful is to see such a divided curriculum as representing 'knowledge of the powerful' or knowledge defined and selected by those in power. A consequence of this perspective in the UK has been that the focus has been almost entirely on 'the knowers' – who decides the selection of knowledge and the question 'what knowledge?' has been largely avoided. Furthermore, when the focus of research has moved beyond critique and questions of power it has been has been on teaching and learning or, in English terms, pedagogy.

Two things changed this situation in the last decade – one in theory and one in policy. The theoretical shift involved a group of researchers I have been involved with in the sociology of education in England, Australia and South Africa who began to question 'knowledge of the powerful' as a way of conceptualising the curriculum. We argued that as a theory of power it said much about an unequal society but very little about the curriculum. This was dramatized for me working in South Africa in the 1990's when the African National Congress won that country's first democratic election. In 1994 the previously powerless Black Majority became the government and were 'in power' but the 'knowledge of the powerful' theory of the curriculum told them nothing about what this might mean for curriculum when the previously powerless became the government. It was partly this experience that led us to invert the idea of the curriculum as 'knowledge for the powerful' and introduce the idea that the curriculum could be seen, at least in theory as 'powerful knowledge'. If we had had such a concept in South Africa in 1995 we might have been able to advise the newly elected government about their curriculum options. As it was they assumed that any curriculum was in effect 'knowledge of the powerful' and became trapped in a version of an 'outcomes – based curriculum'. Its intention was to 'free' teachers from a curriculum imposed on them. However it gave no guidance to teachers whose only previous experience was following the requirements of a white minority government.

This experience led me and others to address the fundamental question 'what are schools for?'. I argued that they must

> enable all students to *acquire knowledge* that takes *them beyond their experience*. It is knowledge which many will not have access to at home, among their friends, or in the communities in which they live. Access to this knowledge is or should be, the 'right' of all pupils as future citizens. (Young & Mullet, 2016).

I want therefore to elaborate on this claim and some of the ways we have begun to develop it, at least theoretically.

Schools emerged at a time when societies were becoming more complex and the limitations of what knowledge could be 'learned from experience' were becoming more apparent. Schools expanded initially in Europe, but increasingly, globally and the period young people were expected to attend them was gradually extended from 5 years to 12 or 13. This gradually raised two questions. The first was 'what is this knowledge that cannot be learned from experience?' – a question that curriculum studies and most of those working in my field, the sociology of education, have been peculiarly reluctant to address. The second question, or more recent origin, was is the knowledge that pupils can acquire in school a universal right for all children or should it be distributed according to aptitude, ability or motivation?

I have four starting points in addressing these questions. The first is that human learning is itself a knowledge – building activity – we all learn and acquire new knowledge as we grow up if we are to survive. The second is that curricula and schools are institutions designed to enhance this naturally acquired knowledge in particular ways that complement and go beyond the knowledge we acquire from experience. My third starting point is to ask 'what is this knowledge?' and what models of knowledge building do we have for providing access to knowledge that takes us beyond our experience? My final question is if there is knowledge that is in some sense universal, is there any reason why it should not be an entitlement for all? Pupils, regardless of background, motivation or apparent aptitude?

A unique insight into these questions we owe to the great French sociologist Emile Durkheim (1915) (Muller & Young, 2013) was recognised in the last decade of his life by the English sociologist Basil Bernstein (1999). Durkheim's insight was that all societies, both the most

primitive and the most advanced, have two quite distinct ways of relating to the world – or kinds of knowledge. Durkheim referred to these as 'the profane' – the knowledge we need to survive and live our everyday lives, and 'the sacred' – knowledge beyond our experience which for most of human history was represented by religion. The important thing about religion, for Durkheim was not the specific beliefs in a deity but the structure of the 'sacred' – that it was not tied to our experience, that which provides us with answers to such questions as 'who we are', 'what we are here for', and 'what happens after we die' – things that experience cannot not tell us anything about. As I am sure you know, Durkheim, like Bernstein was a non practicing Jew. However, as a sociologist, one of his primary interests was why every known society has developed religion. Most sociologists that followed him assumed that he was interested in religion because of its socially integrative role; this was why, misleadingly he was often labelled as a conservative and functionalist. The issue of social integration and how a society with no religion would hold together was a major concern of his – he lived and wrote at a time when secularism was dominant in France and social conflicts were endemic. However, social integration was not his primary interest – nor was he interested in the specific religious beliefs that people held. He focused on how sacred and profane knowledge had different structures and different purposes. He was so struck by these differences and by their significance not just for primitive societies but for humanity throughout history, that he referred to the most primitive totemic religions as 'proto-sciences'. He argued their structure provided the model for all knowledge that was not based on experience, in particular the sciences and, in Bernstein's language which we will come back to all forms of vertical discourse. So what was the key structural difference between the 'sacred' and the 'profane' for Durkheim? It was context. Profane knowledge for survival – or more broadly the knowledge we need to carry on our everyday life, like coming to a seminar, is always context specific – its truth is pragmatic and tied to particular contexts but it is never generalizable. There is nothing or practically nothing that you can generalise from the knowledge you need, for example to build a shelter or to do anything else, except build other

shelters – 'powerful' in a practical sense as part of surviving, but limited. This relates to another crucial point in your sub-title which I will come back to skills.

In his book *Elementary Forms of Religious Life*, Durkheim referred to the search for local animals to be hunted and non-poisonous edible plants as an example of the 'profane'. Profane or everyday concepts are context-specific and crucially for my argument, this is the knowledge which pupils bring to school. The concepts associated with the sacred were for Durkheim quite different in structure – they were not tied to specific contexts at all but linked to each other through their meanings being shared, initially among the priests and later among wider groups of specialists. This collective basis of 'the sacred' meant that sacred concepts have a stability and a coherence that 'the profane' lacks because it is tied to particular contexts. Why did Durkheim refer to the concepts of the sacred as proto-sciences? It was because these concepts are not tied to specific contexts but to the collective as a whole and therefore they are potentially generalizable to all contexts. For example, the idea that matter is mostly empty space (which seems to go against all common sense and experience) is not just an opinion but something agreed and repeatedly confirmed by testing by the specialist community of physicists. Durkheim's argument about the development of knowledge was historical – gradually less and less of the world we experience was explained by the 'sacred, more and more phenomena previously interpreted by religion became progressively secularized – especially those aspects related to the material world. It is the power of knowledge that is not tied to experience that enhances and often challenges the knowledge we acquire through experience. So we have a principle from Durkheim for a curriculum that can take pupils beyond their experience and, in Bernstein's words, enable them to 'think the un-thinkable and the not yet thought'.

Bernstein took Durkheim's thesis about knowledge further in a number of ways:

- He clarified the differences between non-school and school knowledge and hence provided a principled basis for the curriculum.

- He recognised that non-school knowledge is not homogeneous. Pupils will vary in the extent to which what they know combines context independent and context dependent concepts both embedded in their experience. Thus we begin to have a basis for analysing what will facilitate and what will inhibit the acquisition of school knowledge.

Bernstein argued that a learning trajectory that starts in the subjective world of human experience does *not* give access to complex systematic knowledge and that it is such a trajectory that reproduces the division between mental and manual labour with all its implications for social class inequalities. Thus we have the basis of a theory with implications for pedagogy and for the importance of distinguishing between pedagogy (what teachers do and ask pupils to do) and curriculum. While in their pedagogy teachers have to draw on the experience of pupils whatever it is, there are no grounds for that experience being specified in the curriculum.

Bernstein distinguished knowledge structures in terms of how a type of knowledge progresses and in terms of the internal coherence (or relatedness) of its concepts. Contrary to much contemporary educational thought, he showed that boundaries between school and non school knowledge and between the knowledge of different subjects could have positive as well as negative roles for both learners and teachers. He showed how school subjects are not as some theorists claim, mere arbitrary constructs. Through the process of re-contextualisation the transformation of discipline based knowledge into school subjects – subject-based knowledge is built up over time by specialist subject communities and provides access to the knowledge produced in disciplines. In other words, although this knowledge is debated more in some subjects than others, subjects provide the best access we have to what we know about our world. Lastly, if we assume that the main priority of everyone working in education is to maximise student progression, this requires detailed attention for pupils of all ages to the sequencing, pacing and selection of knowledge in every subject.

The curriculum, therefore, is best seen as a form of specialised knowledge, both in its distinctiveness from the everyday knowledge of experience and

in the form that specialisation takes. The focus of our recent work (Young & Muller, 2016) is on the importance of the specialist role of curriculum expertise and the empirical exploration of my theoretical hypothesis about the 'two faces' of the specialisation of knowledge – specialisation *as a condition of progress both of the development of the learner and of the development of new knowledge*, and specialisation *as a source of fragmentation and loss of a sense of the whole*. Increasingly, it is a major responsibility of individual schools and their leaders to hold together these two tendencies by encouraging the former and resisting the latter.

New perspectives on the curriculum; aims and tensions

I have suggested that curricula are not just lists of subjects and topics, but social structures designed to enhance the knowledge building of learners; it follows that curricula constrain some forms of learning and enable others. I think the most important change for me was when I found it necessary to think about the curriculum in quite new ways. For example, in 2007 I was asked to give a talk on the theme 'what are schools for?', I had never really considered this question up to then. I had just taken for granted that every country had schools and the only issue was to maximise the proportion of each cohort that succeeded. I then started to read what others were saying. Here are two examples:

1. *The primary purpose of schools is to promote human well being* according to a philosopher colleague (White & Reiss, 2014). Of course we want schools to promote human well being; but then I thought about families, parks, hospitals and play grounds, surely all are about promoting human well being? In other words promoting well being as a purpose does not tell us much about schools. If human well being was all that really mattered, we could just have parks and it would be much cheaper!
2. It was our former Prime Minister, Tony Blair, who came up with another idea which really worried me. Education, he said, *is the best economic policy we have.* I had two responses to this – the first is that it is basically wrong; if you really want to improve your economy you

improve your economy, by, for example, expanding investment in Research and Development. Secondly, all the evidence suggests that countries which focus on improving their economies also created incentives for more young people to stay on and succeed at school. Improving schools is important for its own sake but it is also influenced by changes in the economy. In other words, school improvement is a demand side problem.

3. What distinguishes us from animals from other forms of life is that we are knowledge builders – in more technical terms we engage in epistemic activities. It follows that the curriculum can also be understood as a structure or instrument for extending that epistemic activity beyond the 'knowledge building' that young people in all societies, throughout human history, have been involved in, including those which had no schools. Any other rationale for the curriculum would be a denial, at least for some, of the entitlement of all pupils to extend their unique human capacity for 'epistemic activity' and 'knowledge building'.

This entitlement is limited, in principle, by two features of all curricula, the nature of knowledge itself and what we know about how it is acquired. Specialized knowledge is not equally distributed – it cannot be; we cannot all know about everything, also some of it is really hard work.

I came across a paper by a colleague of mine, David Scott (Scott, 2013). He reminded me that we need to think about schools historically – schooled societies are at the most 150-200 years old and the oldest schools are less than 1000 years old. So what happened? Gradually the richer social classes realised that inherited land was not going to guarantee a future for their children and having private tutors was not enough – society was becoming too complex for growing up to be left to parents and the community. People needed the kind of knowledge that they could not easily acquire at home. This began with the rich classes but gradually the subordinate classes realised that not being schooled became a new source of being dominated – hence the struggle for access to school. Gradually this became not just a struggle for access but a struggle for what I call 'epistemic access' or to put it another way, a struggle for access to

knowledge. In a recent random sample of mothers with children in nursery school in England, over 90% said they wanted their children to go to university, over twice as many as in fact do today. We have a long way to go. Epistemic access is not just more learning or more years in school; it is the most fundamental right of all children, the right to progress not just from year x to year y or from level 3 to level 4 but to be confident that in progressing they know more. It does not mean that all children are going to get high grades any more than all are going to become lawyers or doctors, what it does mean is that progression must be at the centre of what schools do and it says something important about what any school's curriculum should be like and why it must never be just an instrument of accountability but always an instrument of progression. It also means that we need more knowledge about knowledge for knowledge progresses in different ways in different fields. We need to incorporate our understanding of how knowledge progresses into any curriculum because it is the curriculum that can, but in far too many cases, does not support the progression of learners.

High level curricula for all and the idea of three futures

The three futures model was the development of an idea from my 2009 ECER keynote *Alternative Educational Futures for a Knowledge Society*. It became a joint paper with my South African colleague Joe Muller (Young & Muller, 2010). It introduces a typology of curricula in terms of their different assumptions about knowledge and their possible futures. Future 1 referred to the traditional static subject based curriculum inherited from the 19th century and associated with the selective grammar and private fee paying schools. Future 2 was the education community's response the exclusiveness of Future 1 which no longer saw knowledge as fixed or as an entitlement for all. Future 3 was our attempt to specify what a curriculum based on the entitlement to powerful knowledge for all might mean. The Three Futures idea was taken a bit further in a 2011 paper in The Curriculum Journal in relation to the curriculum for 14-19 year olds in England, and spelled out in a most recent book (Young & Lambert, 2014). The interesting possibility the Three Futures idea open is a

comparative study of Future 3 and Portugal's *High level curricula* for all.

The second theoretical theme I have been working on in a number of papers is the concept of 'powerful knowledge'**.** I have not time to go into it in detail here but two things are worth emphasising. One is that if you accept the argument of High Level Curricula for all, then we must have a concept of what is meant by 'high level' and the idea of 'powerful knowledge' is one way of addressing this question. The second issue is that whether one uses High Level or powerful knowledge, this will apply very differently across subjects; it is a far less straightforward question in the humanities where there is often little consensus among specialists unlike in the sciences. However in in a recent paper I wrote with Johan Muller (Young & Muller, 2014), we argue that we can be explicit at least about 'best knowledge' in all subjects.

The sub-theme of your seminar title is 'knowledge and skills'. I have been trying to re-think the concept of skill and how it is deeply misunderstood in most educational policy. For example, skills in the sense of 'being able to do things well' are as important in learning history as in learning carpentry. I come from many years researching vocational education and such ideas as competence-based and outcomes-based approaches, National Qualification Frameworks and the accreditation of experiential learning. Almost without exception vocational education researchers either dismiss knowledge as 'not vocational' or allow it to disappear as knowledge and skills are collapsed. Vocational education policy and research has also generated the misleading idea of 'generic skills', sometimes known as 21st century skills and usually associated with such ideas as problem solving, learning to learn, creativity and working together. A moment's thought tells us that there is no such thing as problem solving – only solving particular problems in particular fields of activity. I have come to the conclusion that the skill/knowledge dyad especially as it is associated with divisions between academic and vocational curricula is more an ideological than a conceptual distinction. It has a history that perpetuates a 19th century division between mental and manual division of labour and obscures the reality that any act of thought or learning involves doing as well as thinking (Muller & Young, 2013).

The political context of current curriculum debates

Finally some brief comments on the political context of curriculum debates in England. From 2010-2015 we had Conservative-led Coalition Government with until August 2014 a highly interventionist Education Minister, Michael Gove. He was moved to a less important job, not because his Party disagreed with his policies but because they were too unpopular to be risked in the recent General Election when, interestingly, education policy was hardly mentioned.

We have had a National Curriculum since 1988. However its compulsory knowledge content was, until 2010, steadily reduced. The numbers taking subjects such as history, foreign languages, geography and the single science subjects that are not compulsory after the age of 14 fell and were replaced by programmes deemed suitable for slower learners (invariably those from disadvantaged families); they were largely pre-vocational, community-oriented or had a focus on personal and life skills. From 2010 the Coalition Government tried to reverse this trend by introducing more rigorous academic subject-based curriculum criteria, more compulsory subjects and a greater emphasis on end of course assessment. All these reforms were fiercely opposed by teacher unions, teacher educators and many educational researchers; they were seen as elitist, backward looking and likely to discriminate against children from poor families. This was the context in which my ideas of Powerful Knowledge and Future 3 were drawn on by the Expert Group appointed by the Government to design a new framework for the National Curriculum. The political debate about the curriculum in England became almost straight left-right split with the few of us in Faculties of education supporting a knowledge or subject-based curriculum in an uncomfortable position. Let me put the terms of the debate as simply as possible. A right wing government was supporting what in your terms might be referred to as a *high level curriculum for all*, whereas the majority of the education community opposed the move as discriminatory. What this debate – hardly a debate – signified to me is that neither side showed any curriculum expertise. Neither wanted a 'higher level curriculum for all'; the Government would perpetuate a differentiated curriculum by limiting educational resources, especially

specialist subject teachers, whereas the opposition accepted a knowledge-free curriculum for the lower achievers. Addressing this issue is what our book *Knowledge and the Future School* is about. It tries to find a way between these non-communicating warring parties as well as linking two issues in educational studies that always seem apart – curriculum and social justice.

As I edit this talk we are facing five years of a Conservative government. It is unlikely that education will be high on their agenda. Whether this gives those of us who want to establish something like a High Level Curriculum for All remains doubtful. However I am cheered by the Italian educator and political activist, Antonio Gramsci's famous phrase "Pessimism of the intellect and optimism of the will".

References

Bernstein, B. (2000). *Pedagogy, symbolic control and identity: Theory, research, critique*. London and New York: Rowan and Littlefield.

Durkheim, E. (1915). *The Elementary Forms of Religious Life*. London: Allen and Unwin.

Muller, J., & Young, M. (2014). Disciplines, skills and the university. *Higher Education*, *67*, 127-140.

White, J., & Reiss, M. (2014).*An aims-based curriculum: The significance of human flourishing for schools*. London: IOE Press.

Young, M. (2007).*Bringing Knowledge Back In*. London: Routledge.

Young, M. (2010). Alternative educational futures for a knowledge society. *European Educational Research Journal, 9*(1), 1-12.

Young, M. (2011). The return to subjects: a sociological perspective on the UK Coalition government's approach to the 14–19. *Curriculum, 22*(2), 265-278.

Young, M., & Muller, J. (2013). On the powers of powerful knowledge. *Review of Education, 1*(3), 229-250.

Young, M., & Lambert, D. (2014).*Knowledge and the future school*. London: Bloomsbury.

Young, M., & Muller, J. (2016).*Curriculum and the specialisation of knowledge*. London: Routledge.

CONCEPTUALIZAÇÃO DOS CONHECIMENTOS E DAS CAPACIDADES EM CURRÍCULOS

Sílvia Ferreira[1]
Ana Maria Morais[1]
Isabel Pestana Neves[1]
Margarida Afonso[1]
Preciosa Silva[1]

Pressupostos teóricos e modelos de análise

A conceptualização dos conhecimentos e das capacidades em currículos tem sido abordada pelo Grupo ESSA como um dos princípios fundamentais na defesa de um currículo *exigente* para *todos* os alunos. Para se atender ao alcance e pertinência deste princípio, começa-se por apresentar os pressupostos teóricos e, de seguida, os modelos de análise concebidos com base nesses pressupostos.

Pressupostos teóricos

Exigência conceptual – Significado. Na investigação desenvolvida na área do ensino das ciências (ex., Calado, Neves & Morais, 2014; Ferreira & Morais, 2014; Silva, Morais & Neves, 2014a), o conceito de *exigência conceptual* tem sido entendido em função de três parâmetros (Figura 1.1.). Dois desses parâmetros estão relacionados com *o que* do ensino/aprendizagem, isto é, com os conhecimentos científicos e capacidades cognitivas; o outro parâmetro, relacionado com o *como* do ensino/aprendizagem, refere-se à relação entre discursos, quando essa relação diz respeito a discursos da mesma disciplina (relações intradisciplinares).

[1] Investigadoras do Grupo ESSA (ver notas biográficas).

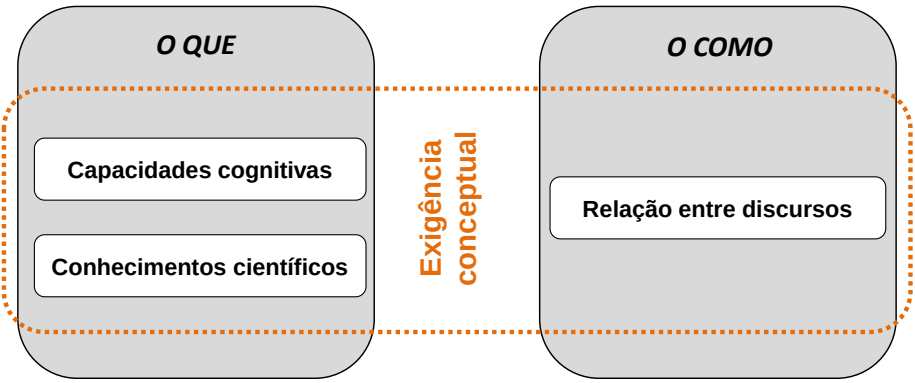


Figura 1.1. Parâmetros de análise da exigência conceptual (adaptado de Morais & Neves, 2012).

Tal como expresso em Morais e Neves (2012), a exigência conceptual corresponde ao nível de complexidade em educação científica traduzido pela complexidade do conhecimento científico e das relações entre conhecimentos distintos de uma dada disciplina científica e também pela complexidade das capacidades cognitivas.

Fundamentos sobre a exigência conceptual. Como pressupostos teóricos que permitem fundamentar a ideia de um ensino das ciências conceptualmente exigente, apresentam-se fundamentos de natureza epistemológica, psicológica e sociológica. Muitos autores e posições poderiam ser referidos para fundamentar a importância da exigência conceptual nos currículos. Os que se apresentam pretendem ilustrar a posição do Grupo ESSA quanto a este assunto, tendo presente a importância de permitir o acesso de todos os alunos a um ensino de qualidade.

Fundamentos epistemológicos. De entre os fundamentos epistemológicos, incluem-se fundamentos que se relacionam com a construção do conhecimento científico, partindo de ideias de cientistas e de filósofos da ciência, e fundamentos que se relacionam com a estrutura do conhecimento científico. Por exemplo, Holton e Roller (1958) – ambos cientistas da área da Física – consideram que a ciência é um processo dinâmico de investigação e um corpo de conhecimento rigoroso e, para

Popper (1959), o conhecimento científico pode ser encarado como um sistema de teorias em que a meta é descobrir teorias que, à luz da discussão crítica, cheguem mais perto da verdade. Nestas ideias está evidente a noção de que a própria construção do conhecimento científico implica elevados níveis de conceptualização. Como fundamentos de natureza epistemológica, também relacionados com a construção da ciência, pode recorrer-se novamente a algumas ideias de Popper e também a ideias de Kuhn (1962) para evidenciar a importância da exigência conceptual no ensino das ciências. Popper (1959, citado por Chalmers, 1999) afirma, por exemplo, que "quando uma hipótese, que passou por testes rigorosos, é falsificada, surge um novo problema; este novo problema exige a invenção de novas hipóteses, seguida de nova crítica e de novos testes" (p. 69). Por outro lado, Kuhn (1962) defende que, no desenvolvimento da ciência normal, os problemas científicos transformam-se em enigmas que a comunidade científica vai procurando resolver dentro do quadro do paradigma vigente. Estas ideias podem, e devem, ter expressão no ensino/aprendizagem, através da exploração de conhecimento conceptualizado (como é o caso das teorias científicas) e do desenvolvimento de capacidades cognitivas de nível elevado, como é o caso da formulação de problemas ou de hipóteses.

A estrutura do conhecimento científico constitui-se igualmente como fundamento de natureza epistemológica para um ensino das ciências conceptualmente exigente. Este fundamento baseia-se na análise que Bernstein (1999) faz das estruturas do conhecimento e que está presente no esquema da Figura 1.2.

Este esquema mostra como o conhecimento pode apresentar uma estrutura hierárquica, como a que caracteriza o conhecimento científico (ex., Biologia, Física), ou uma estrutura horizontal, como a que caracteriza o conhecimento de outras áreas académicas (ex., sociologia, economia). Ambas correspondem a um discurso vertical, académico, em oposição ao discurso horizontal, que corresponde ao conhecimento não académico, do dia a dia.

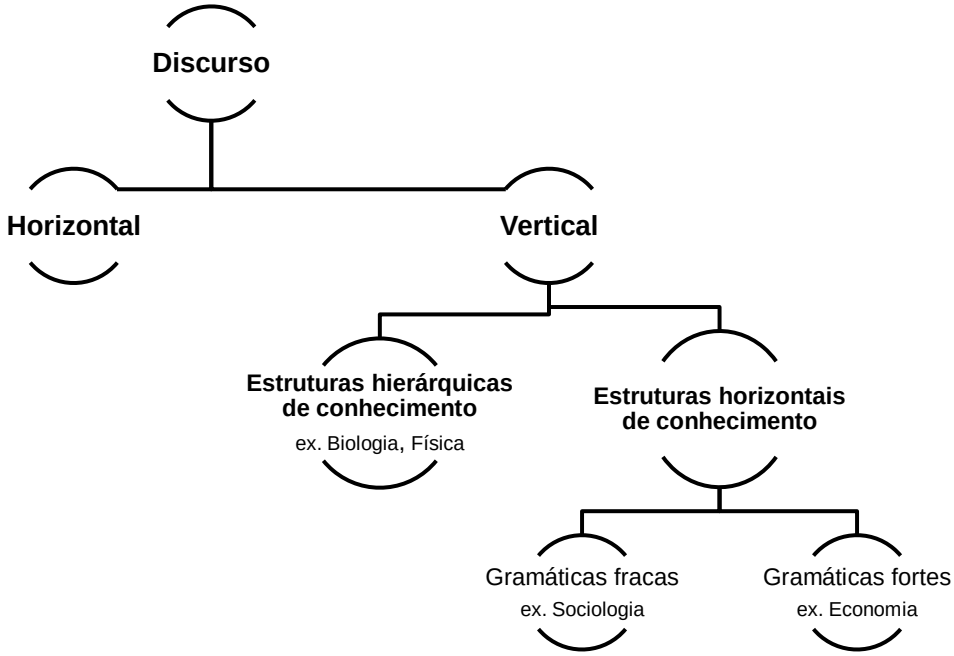


Figura 1.2. Discursos verticais e horizontais (adaptado de Bernstein, 1999).

De acordo com Bernstein (1999), enquanto as estruturas horizontais de conhecimento são traduzidas por uma série de linguagens paralelas, as estruturas hierárquicas de conhecimento, como é o caso do conhecimento científico, são traduzidas pela articulação entre níveis de conhecimento no sentido do desenvolvimento de teorias sucessivamente mais gerais e integradoras. Tendo em conta este fundamento epistemológico, baseado na estrutura hierárquica do conhecimento científico, pode defender-se a ideia de que para se aceder a esse conhecimento, ele deverá ser conceptualizado e não limitado a um conhecimento nominal e factual.

Fundamentos psicológicos. Os fundamentos de natureza psicológica baseiam-se também em vários autores, destacando-se aqui algumas ideias de Bruner (1963) e Geake (2009), relacionadas com a exigência conceptual ao nível dos conhecimentos, e de Vygotsky (1978), quanto à exigência conceptual ao nível das capacidades cognitivas.

No caso de Bruner, a importância da exigência conceptual ao nível dos conhecimentos tem fundamento na sua ideia do currículo em espiral. O autor defende que o currículo deve ser estruturado para que o aluno possa reanalisar o conhecimento adquirido, mas de uma forma mais aprofundada e com um nível de representação mais avançado. Bruner alega, assim, que o currículo deverá ser estruturado em espiral, ou seja, a progressão do conhecimento deve ser feita do simples para o complexo, do concreto para o abstrato, do específico para o geral. Mais recentemente, Geake ilustra a importância do currículo em espiral quando afirma que um currículo em espiral, ao apresentar conceitos semelhantes em contextos novos e crescentemente mais complexos, oferece mais oportunidades para a repetição necessária a uma aprendizagem efetiva e eficaz e que "na conceção de um currículo, a profundidade deve sobrepor-se à abrangência, com prioridade sobre o conhecimento central" (p. 55).

Quanto a Vygotsky (1978), a importância que atribui às funções mentais de nível elevado, constitui um fundamento psicológico para um ensino conceptualmente exigente, ao nível de complexidade das capacidades cognitivas. Este autor considera que um processo eficiente de ensino/aprendizagem de conceitos deve proporcionar o desenvolvimento de capacidades cognitivas que conduzam a funções mentais de nível elevado. Contudo, é importante ter presente que apenas quando os alunos desenvolvem capacidades simples, como a memorização de determinados factos e conceitos, podem simultaneamente desenvolver capacidades complexas, como a aplicação desses conceitos a novas situações (Geake, 2009; Morais & Neves, 2012).

Com base em fundamentos de vária ordem, em particular psicológicos, têm sido criadas taxonomias de objetivos educacionais que têm permitido categorizar as capacidades cognitivas de vários níveis de complexidade que devem ser desenvolvidas pelos alunos. O modelo de Anderson e colaboradores (2001), que traduz uma versão revista da Taxonomia de Bloom (Bloom, Engelhart, Furst, Hill & Krathwohl, 1972), engloba seis categorias – memorizar, compreender, aplicar, analisar, avaliar e criar – e pressupõe que existe um *continuum* de complexidade crescente em relação aos processos cognitivos (Figura 1.3.).

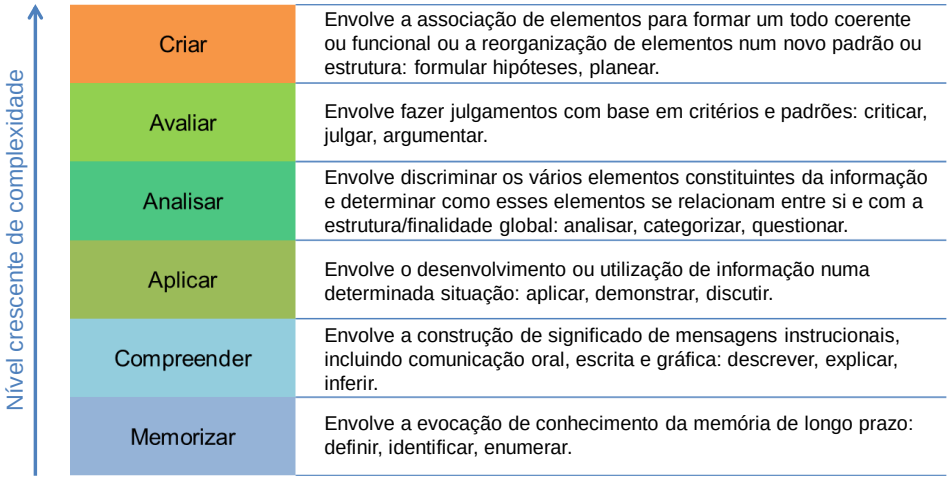


Figura 1.3. Categorias dos processos cognitivos da Taxonomia revista de Bloom (adaptado de Anderson et al., 2001).

Outra taxonomia mais recente de objetivos educacionais – a Taxonomia de Marzano e Kendall (2007) – inclui também vários níveis de complexidade dos processos do sistema cognitivo, englobando quatro processos: recuperação, compreensão, análise e utilização do conhecimento (Figura 1.4.). Estes quatro processos estão ordenados hierarquicamente dentro do sistema cognitivo, sendo a recuperação o processo mais simples e a utilização do conhecimento, em situações desconhecidas, o processo mais complexo.

Na investigação sobre análise curricular, realizada pelo Grupo ESSA, tem-se recorrido, consoante os estudos, a uma destas duas taxonomias para avaliar o nível de complexidade das capacidades cognitivas, enquanto indicador da exigência conceptual.

Fundamentos sociológicos. Para além de fundamentos epistemológicos (que decorrem de aspetos relacionados com a construção e com a estrutura do conhecimento científico) e de fundamentos psicológicos (que decorrem de aspetos mais diretamente relacionados com os processos cognitivos), existem também fundamentos sociológicos que estão na base de um ensino conceptualmente exigente.

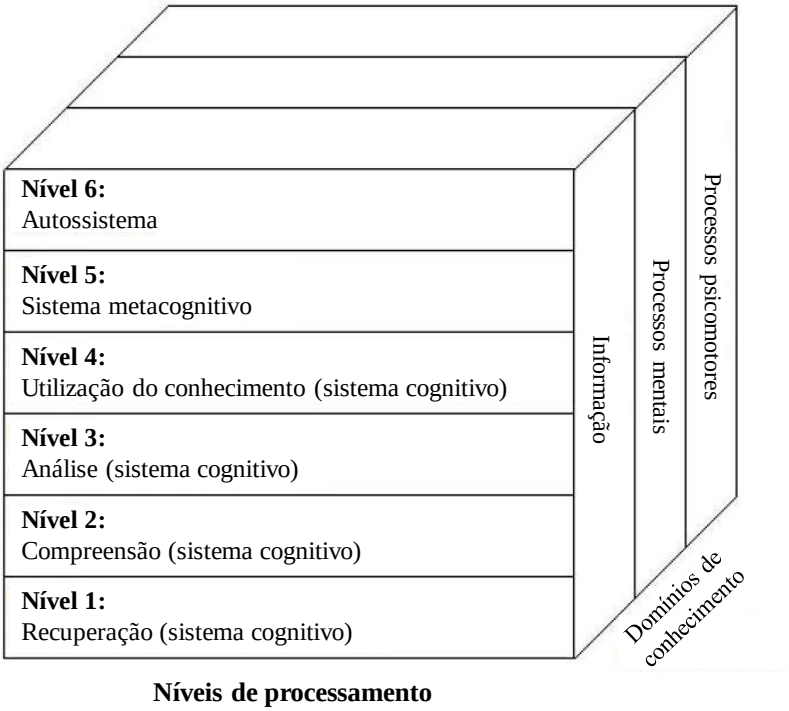


Figura 1.4. Níveis de processamento e domínios de conhecimento da taxonomia de Marzano (Marzano & Kendall, 2007).

Quando se questiona "Quem deve ter acesso ao conhecimento científico", está subjacente uma posição de cariz ideológico que nos remete para o *princípio da igualdade social* em termos de acesso de todos os alunos a um conhecimento científico que vá para além do conhecimento terminológico e factual e ao desenvolvimento de capacidades cognitivas que não se limitem à memorização ou à compreensão de nível simples. Com base na teoria de Bernstein e de acordo com Morais (Domingos, 1989), o sucesso escolar numa sociedade democrática pressupõe o acesso de todos os alunos ao conhecimento legitimado pela comunidade científica e pela sociedade, permitindo-lhes assim o acesso ao discurso do poder e ao poder do discurso.

Outro importante fundamento de natureza sociológica tem a ver com os princípios ideológicos subjacentes à construção curricular. Como

Bernstein (1990, citado em Domingos et al., 1986) defende, "o modo como a sociedade seleciona, classifica, distribui, transmite e avalia o conhecimento educacional formal reflete a distribuição de poder e os princípios de controlo social. Por isso, as diferenças e a mudança na organização, na transmissão e na avaliação do conhecimento educacional devem ser uma área fundamental de interesse sociológico da educação" (p. 149).

Exigência conceptual na relação entre a dimensão pedagógica e epistemológica do conhecimento científico. Com o esquema da Figura 1.5. pretende-se pôr em evidência um dos aspetos fundamentais da relação que se pode estabelecer entre as dimensões epistemológica e pedagógica do conhecimento científico. A dimensão pedagógica refere-se à transmissão do conhecimento, neste caso entendido em função do nível de exigência conceptual; a dimensão epistemológica refere-se à estrutura do conhecimento científico, enquanto conhecimento vertical com uma estrutura hierárquica. Tendo presente a relação entre as duas dimensões, pode afirmar-se que um currículo que apele a um baixo nível de exigência conceptual limita o acesso dos alunos à estrutura hierárquica que caracteriza o conhecimento científico; pelo contrário, um currículo que apele a um elevado nível de exigência conceptual facilita o acesso dos alunos a essa estrutura.

Defender um nível elevado de exigência conceptual como uma forma de facilitar o acesso de todos os alunos à própria estrutura do conhecimento científico, quanto aos conhecimentos e às capacidades, tem sido a posição do Grupo ESSA, baseada não só em fundamentação teórica mas também em dados empíricos de estudos realizados a vários níveis de escolaridade (ex., Calado, Neves & Morais, 2014; Ferreira & Morais, 2014; Silva, Morais & Neves, 2014b; Pires, Morais & Neves, 2004), como será evidenciado através da apresentação de alguns resultados de investigação. É, contudo, de relevante importância salientar que, ao defender-se um nível elevado de exigência conceptual, tal não significa que se esteja a desvalorizar conhecimentos e capacidades de nível mais baixo, igualmente necessários a uma aprendizagem eficiente. É também de realçar que a defesa de uma ou de outra posição relativamente ao nível de exigência

conceptual envolve questões ideológicas, quer da parte dos construtores de currículos, quer da parte dos professores que os põem em prática.

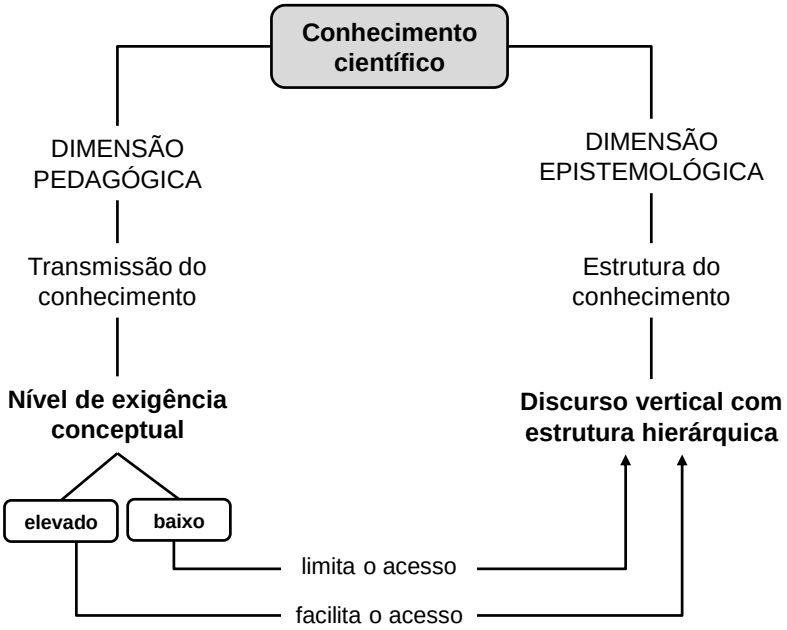


Figura 1.5. Exigência conceptual e estrutura do conhecimento no contexto educacional das ciências (adaptado de Morais & Neves, 2012).

Metodologia de investigação usada em análise curricular. De forma a facilitar a explicitação do modo como foram concebidos os modelos e instrumentos de análise curricular que se apresentam de seguida, impõe-se clarificar a metodologia de investigação que se tem vindo a usar, não só em estudos sobre a exigência conceptual dos currículos, mas também em estudos sobre as temáticas que serão abordadas nas duas partes seguintes. A Figura 1.6. traduz, de forma global, o modelo dessa metodologia de investigação, construído por Morais e Neves (2001), a partir das ideias de Bernstein (1996) sobre linguagens de descrição.

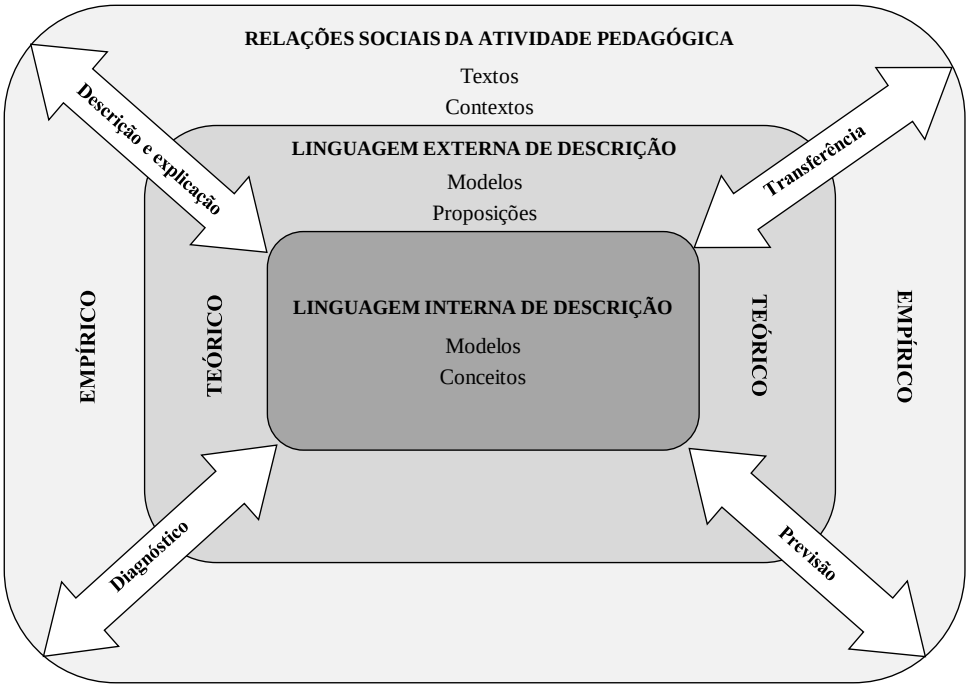


*Figura 1.6.*Modelo da metodologia sociológica de investigação (Morais & Neves, 2001, adaptado de Bernstein, 1996).

Tendo por base este esquema, pode dizer-se que os modelos e instrumentos de análise têm sido construídos com base em modelos e conceitos de teorias de várias áreas do conhecimento (o que Bernstein designa por linguagem interna de descrição) e, nesta perspetiva, usa-se uma abordagem racionalista. Os conceitos ainda muito abstratos da linguagem interna de descrição são operacionalizados em modelos e proposições que constituem a linguagem externa de descrição. Nesta operacionalização tem-se em conta os dados empíricos fornecidos pelos textos e contextos em estudo e, nesta perspetiva, usa-se uma abordagem de natureza mais naturalista. Os instrumentos de análise são então construídos com base numa relação dialética entre o teórico e empírico. A investigação segue, assim, um modelo de metodologia misto, que associa perspetivas racionalistas (mais associadas a abordagens quantitativas) com naturalistas (mais associadas a abordagens qualitativas). Um aspeto crucial

desta metodologia tem a ver com a natureza das teorias que constituem a linguagem interna de descrição. Apenas teorias de gramática forte, isto é com poderes de diagnóstico, de descrição e explicação, de previsão e de transferência, são capazes de orientar a investigação. A teoria de Bernstein, enquanto possuindo estes poderes, tem sido por isso uma das principais fontes conceptuais da investigação do Grupo ESSA.

Modelos de análise

Como referido anteriormente, a exigência conceptual no ensino das ciências tem sido analisada em função de três dimensões: complexidade dos conhecimentos científicos, complexidade das relações entre discursos e complexidade das capacidades cognitivas. São diversos os textos educacionais e relações que podem e têm sido objeto de análise nos estudos realizados pelo Grupo ESSA: os princípios gerais e os princípios específicos de currículos, que fazem parte do discurso pedagógico oficial (DPO); os manuais escolares e as práticas pedagógicas, ambos discursos pedagógicos de reprodução (DPR); e ainda os processos de recontextualização que podem ocorrer entre estes diversos textos educacionais, isto é, as transformações que os textos sofrem quando são transferidos de um contexto para outro contexto (Figura 1.7.). A análise apresentada vai estar sobretudo focada em currículos de ciências.

De forma a analisar os documentos curriculares, os respetivos textos foram organizados em quatro secções – Conhecimentos, Finalidades, Orientações Metodológicas e Avaliação – de acordo com a natureza da informação que esses textos continham. Esta organização baseou-se no facto de estes aspetos fazerem usualmente parte dos documentos oficiais, independentemente da designação específica que lhes é atribuída. Estas secções constituíram os indicadores de análise que foram, assim, estabelecidos com base nos dados empíricos.

Para a análise de cada uma das dimensões de exigência conceptual, foram construídos e aplicados instrumentos de análise. Em relação à complexidade das capacidades cognitivas, o instrumento de análise contém quatro graus de complexidade. Esses graus têm sido definidos com

base em diferentes taxonomias de categorização das capacidades cognitivas, de que são exemplo a taxonomia revista de Bloom (Anderson et al., 2001) e a taxonomia de Marzano (Marzano & Kendall, 2007).

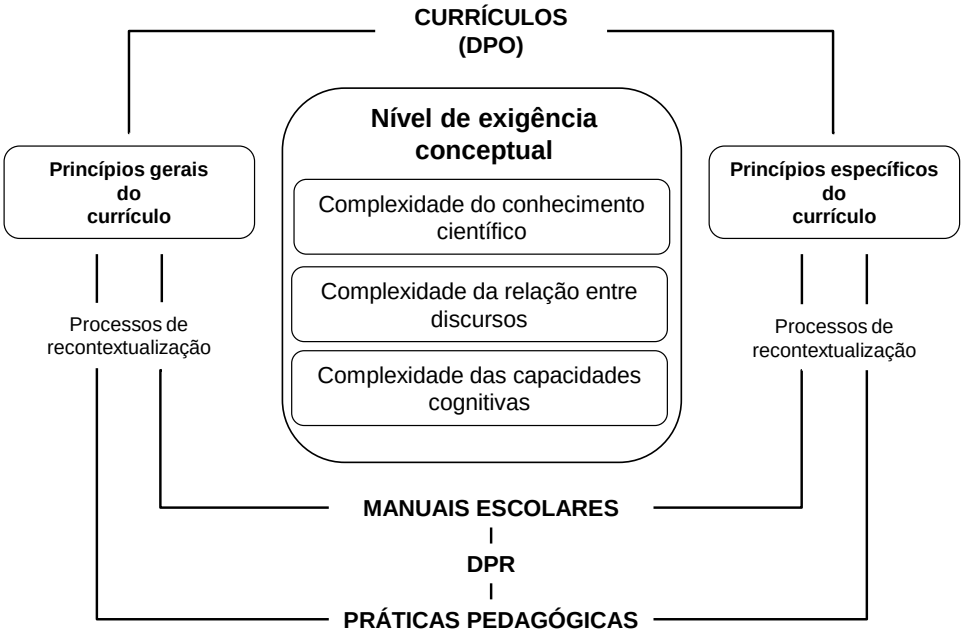


Figura 1.7. Nível de exigência conceptual de textos educacionais e processos de recontextualização (adaptado de Morais & Neves, 2012).

Na Tabela 1.1. apresenta-se um excerto deste instrumento que foi construído tendo em consideração a taxonomia revista de Bloom. O grau 1 corresponde a capacidades cognitivas pertencentes à categoria memorizar, que envolve a evocação de conhecimento da memória de longo prazo, incluindo os processos cognitivos de reconhecer e recordar e ainda capacidades pertencentes à categoria compreender ao nível mais elementar, incluindo os processos cognitivos de clarificar e exemplificar. O grau 2 corresponde também a capacidades cognitivas pertencentes à categoria compreender, mas é pressuposta a compreensão de mensagens

complexas que incluem os processos cognitivos de classificar, sumariar, inferir, comparar e explicar; este grau compreende ainda capacidades cognitivas pertencentes à categoria aplicar, envolvendo o desenvolvimento ou utilização de informação numa determinada situação, como a aplicação de um procedimento a uma tarefa que é familiar (processo cognitivo de executar). O grau 3 corresponde a capacidades cognitivas, também pertencentes à categoria aplicar, mas neste caso, a um nível elevado, ou seja, envolve a aplicação de um procedimento a uma tarefa que não é familiar (processo cognitivo de implementar); este grau compreende ainda capacidades da categoria analisar, onde se integram os processos cognitivos de diferenciar, organizar e desconstruir. O grau 4 diz respeito às capacidades cognitivas de maior complexidade, como as categorias avaliar e criar, estando incluídos na categoria avaliar os processos cognitivos de testar e de criticar e na categoria criar os processos cognitivos de formular hipóteses, planificar e produzir.

Tabela 1.1.
Excerto do instrumento de caracterização da complexidade das capacidades cognitivas.

Grau 1	**Grau 2**	**Grau 3**	**Grau 4**
São referidas capacidades de baixo nível de complexidade, envolvendo processos que implicam adquirir e armazenar informação e compreender mensagens instrucionais simples.	São referidas capacidades com um nível de complexidade superior ao grau 1, como compreender mensagens instrucionais complexas e aplicar a um nível baixo.	São referidas capacidades com um nível de complexidade superior ao grau 2, envolvendo as capacidades de aplicar, a um nível elevado,e de analisar.	São referidas capacidades com um nível de complexidade muito elevado, como as capacidades de avaliar e de criar.

Nota. Adaptado de Afonso et al. (2013).

Na Tabela 1.2. apresentam-se alguns exemplos de unidades de análise do currículo de Ciências Naturais do 3.º ciclo do ensino básico (CEB),

nomeadamente do documento relativo às Orientações Curriculares (DEB, 2002), ainda em vigor em conjunto com as Metas Curriculares (MEC, 2013, 2014), e a respetiva análise quanto à complexidade das capacidades cognitivas. Salienta-se que os exemplos que se apresentam resultam de investigação que foi realizada anteriormente à implementação das atuais metas.

Tabela 1.2.
Exemplos da complexidade das capacidades cognitivas no currículo de Ciências Naturais do 3.º CEB.

[1]	Grau 1 – "Os alunos devem conhecer a localização do material genético na célula, o que pode ser concretizado com recurso a esquemas da constituição celular." (*Orientações Curriculares 3.º ciclo,* p. 33)
[2]	Grau 2 – "Certos conceitos, como produtor, consumidor e nível trófico, podem ser referidos mediante a exploração de cadeias alimentares simples. Pode ser pedido aos alunos que construam cadeias alimentares, em texto ou desenho, de forma a serem interpretadas pelos colegas." (*Orientações Curriculares 3.º ciclo*, p. 24)
[3]	Grau 3 – "A pesquisa de informação sobre o trabalho de cientistas que contribuíram para o conhecimento do organismo humano e para o desenvolvimento de procedimentos médicos e cirúrgicos…" *(Orientações Curriculares 3.º ciclo*, p. 36)
[4]	Grau 4 – "Uma atividade a realizar consiste na análise de documentos previamente selecionados pelo professor que evidenciem conflitos de interesses inerentes a estas questões. Esta temática favorece a promoção de ambientes de aprendizagem baseados na resolução de problemas e em exercícios de tomada de decisão." (*Orientações Curriculares 3.º ciclo*, p. 29)

Nota. Adaptado de Afonso et al. (2013).

No excerto [1] apela-se à memorização da localização do material genético da célula e, por isso, esta unidade de análise foi classificada com o grau 1. Quanto ao excerto [2] salienta-se a utilização de um verbo de forma ambígua (explorar) e de outro verbo que não é representativo de uma capacidade cognitiva (construir). Nestes casos, é necessário olhar para o contexto geral da unidade e procurar identificar o processo cognitivo que está a ser solicitado, tendo em conta a definição apresentada pelos autores da taxonomia revista de Bloom para cada categoria e

processos cognitivos. Neste exemplo, sobressai o processo cognitivo de compreender a um nível mais complexo, tendo sido classificado com o grau 2. No excerto [3] a metodologia sugerida apela a capacidades cognitivas complexas, como pesquisar informação. Esta capacidade está incluída na categoria analisar, pelo que a unidade de análise foi classificada com o grau 3. Por último, no excerto [4] as metodologias sugeridas apelam a capacidades cognitivas complexas, como resolver problemas e tomar decisões. A unidade de análise foi, assim, classificada com o grau 4, uma vez que estas capacidades estão incluídas na categoria avaliar.

Para analisar a complexidade dos conhecimentos científicos, foi construído um instrumento que, à semelhança do anterior, também contém quatro graus de complexidade. Essa complexidade está baseada na distinção entre factos, conceitos simples, conceitos complexos e temas unificadores/teorias, tendo em consideração as definições que diversos autores apresentam (ex., Anderson et al., 2001; Cantu & Herron,1978). Na Tabela 1.3. apresenta-se um excerto deste instrumento.

Tabela 1.3.
Excerto do instrumento de caracterização da complexidade dos conhecimentos científicos.

Grau 1	**Grau 2**	**Grau 3**	**Grau 4**
É referido conhecimento de baixo nível de complexidade, como factos.	É referido conhecimento de nível de complexidade superior ao grau 1, como conceitos simples.	É referido conhecimento de nível de complexidade superior ao grau 2, envolvendo conceitos complexos.	É referido conhecimento de nível de complexidade muito elevado, envolvendo temas unificadores e/ou teorias.

Nota. Adaptado de Afonso et al. (2013) e de Ferreira e Morais (2014).

Como se pode verificar na Tabela 1.3., o grau 1 corresponde a factos. Considera-se que um facto é constituído a partir "de dados que resultam da observação" (Brandwein, Watson & Blackwood, 1958, p. 111),

correspondendo a uma situação muito concreta baseada em várias observações, como por exemplo "a água pura ferve a (ou próximo de) 100 °C" ou "o sal comum dissolve-se na água enquanto o giz não" (Millar, Tiberghien & Maréchal, 2002, p. 13). O grau 2 integra conceitos simples. Um conceito é uma "construção mental, um grupo de elementos ou atributos comuns partilhados por certos objetos ou eventos" (Brandwein et al., 1980, p. 12) e representa uma ideia que surge da combinação de vários factos ou de outros conceitos. Neste caso, os conceitos simples caracterizam-se por ter um baixo nível de abstração, com atributos definidores e exemplos que são observáveis (Cantu & Herron, 1978), como é o caso dos conceitos de árvore e de inseto (ao nível mais baixo de compreensão). O grau 3 inclui conceitos complexos. Estes equivalem aos conceitos abstratos preconizados por Cantu e Herron (1978) e são aqueles que, ao contrário dos anteriores, não têm exemplos percetíveis ou, então, têm atributos definidores que não são percetíveis, como é o caso dos conceitos de fotossíntese e de respiração celular. O grau 4 corresponde a temas unificadores e teorias. Os temas unificadores dizem respeito a ideias estruturantes e correspondem, em ciências, às generalizações sobre o mundo que são aceites pelos académicos em cada área específica (Pella & Voelker, 1968) como, por exemplo, o tema "os organismos interagem com o ambiente, trocando matéria e energia" (Campbell & Reece, 2008, p. 6). As teorias científicas, como a teoria celular e a teoria do eletromagnetismo, correspondem a explicações sobre uma ampla variedade de fenómenos relacionados e que já foram sujeitas a testagem significativa (Duschl, Schweingruber & Shouse, 2007).

Na Tabela 1.4. apresentam-se alguns exemplos da análise do documento Orientações Curriculares de Ciências Naturais do 3.º ciclo (DEB, 2002) quanto à complexidade dos conhecimentos científicos. No excerto [5] a metodologia apresentada sugere a mobilização de factos, pelo que foi classificada com o grau 1. O excerto [6] apela a conceitos simples. Os conceitos incluídos neste excerto, relacionados com os fatores bióticos e abióticos dos ecossistemas, apresentam um baixo nível de abstração. O excerto [7], comparado com o anterior, apresenta conceitos com um maior nível de abstração, pelo que foi classificado com grau 3. No excerto [8] a

metodologia indicada, ainda que de forma genérica, apela à mobilização de conhecimentos de nível de complexidade muito elevado, envolvendo leis e modelos científicos. Deste modo, o excerto foi classificado com o grau 4.

Tabela 1.4.
Exemplos da complexidade dos conhecimentos científicos no currículo de Ciências Naturais do 3.º CEB.

[5]	Grau 1 – "Os alunos podem pesquisar materiais de que são feitas a maior parte das nossas roupas que atualmente substituem cada vez mais os materiais naturais como algodão, lã, seda, ou borracha. A verificação de etiquetas de vestuário será uma estratégia […]." (*Orientações Curriculares 3.º ciclo*, p. 28)
[6]	Grau 2 – "A questão 'Como interagem os seres vivos com o ambiente?' pressupõe que os alunos compreendam que do ambiente fazem parte não só as condições físico-químicas, mas também todos os factores que interatuam com os seres vivos em causa – fatores abióticos e bióticos." (*Orientações curriculares 3.º ciclo*, p. 23)
[7]	Grau 3 – "Para se iniciar o estudo dos ecossistemas, sugere se o visionamento de um filme sobre a vida animal e vegetal com a correspondente discussão na aula. Os alunos devem compreender os conceitos de ecossistema, espécie, comunidade, população e habitat. […]" (*Orientações Curriculares 3.º ciclo*, p. 23)
[8]	Grau 4 – "Sugere-se a análise e discussão de evidências, situações problemáticas, que permitam ao aluno adquirir conhecimento científico apropriado, de modo a interpretar e compreender leis e modelos científicos, reconhecendo as limitações da Ciência e da Tecnologia na resolução de problemas, pessoais, sociais e ambientais." (*Orientações Curriculares 3.º ciclo*, p. 6)

Nota. Adaptado de Afonso et al. (2013).

Relativamente à complexidade das relações entre discursos, também designadas por relações intradisciplinares, o instrumento foi construído de modo a possuir também uma escala de quatro graus. Neste caso, recorreu-se ao conceito de classificação de Bernstein (1990, 2000) para definir os graus da escala (C^{--}, C^{-}, C^{+}, C^{++}). A classificação diz respeito ao estabelecimento de fronteiras mais ou menos acentuadas, neste caso, entre conhecimentos distintos dentro de uma determinada disciplina. Fronteiras marcadas (Grau 1/C^{++}) correspondem a uma situação em que não existe relação entre conhecimentos distintos e fronteiras esbatidas (Grau 4/C^{--})

correspondem a uma situação em que existe uma forte relação entre conhecimentos distintos. Na Tabela 1.5. apresenta-se um excerto deste instrumento.

Tabela 1.5.
Excerto do instrumento de caracterização da complexidade das relações entre discursos.

Grau 1 $\mathbf{C^{++}}$	**Grau 2** $\mathbf{C^{+}}$	**Grau 3** $\mathbf{C^{-}}$	**Grau 4** $\mathbf{C^{--}}$
Contemplam apenas a relação entre conhecimentos de ordem simples dentro do mesmo tema. *Ou* É omisso conhecimento científico indispensável à compreensão da relação entre conhecimentos dentro do mesmo tema.	Contemplam a relação entre conhecimentos de ordem simples de temas diferentes.	Contemplam a relação entre conhecimentos de ordem complexa, ou entre estes e conhecimentos de ordem simples, dentro do mesmo tema.	Contemplam a relação entre conhecimentos de ordem complexa, ou entre estes e conhecimentos de ordem simples, de temas diferentes.

Nota. Adaptado de Afonso et al. (2013) e de Calado, Neves e Morais (2014).

Na construção deste instrumento consideraram-se, por um lado, conhecimentos de duas ordens de complexidade: ordem simples, que inclui factos e conceitos simples, e ordem complexa, que inclui conceitos complexos, temas unificadores e teorias; e, por outro, relações que podem ocorrer entre conhecimentos dentro do mesmo tema ou entre conhecimentos de temas diferentes. Foram também estabelecidos os seguintes pressupostos: a relação entre conhecimentos de temas diferentes representa um grau maior de intradisciplinaridade do que a relação entre conhecimentos do mesmo tema; e a ordem (simples ou complexa) dos conhecimentos envolvidos na relação contribui mais para o estabelecimento de um maior grau de intradisciplinaridade do que o facto de esta ocorrer dentro do mesmo tema ou entre temas. Deste modo,

estabeleceu-se que os graus 1 e 2 da escala, correspondentes aos valores mais fortes de classificação (C^{++} e C^{+}), correspondem a situações em que ocorre relação entre conhecimentos de ordem simples, quer estes sejam relativos ao mesmo tema (C^{++}) ou a temas diferentes (C^{+}). Os graus 3 e 4, correspondentes a classificações mais fracas (C^{-} e C^{--}), referem-se a situações em que ocorre relação entre conhecimentos de ordem complexa, ou entre estes e conhecimentos de ordem simples, quer entre conhecimentos do mesmo tema (C^{-}), quer entre conhecimentos de temas diferentes (C^{--}).

Nos estudos onde foi construído e aplicado este instrumento (ex., Calado, Neves & Calado, 2014), verificou-se a necessidade de acrescentar, no grau 1, um descritor que retratasse a situação em que estão omissos conhecimentos científicos (ex., conceito de homeostasia) considerados indispensáveis à compreensão da relação entre determinados conhecimentos.

Na Tabela 1.6. apresentam-se exemplos para cada um dos graus de complexidade das relações entre discursos. No excerto [9], a metodologia apela à relação entre conhecimentos de ordem simples dentro do mesmo tema, pelo que foi avaliada com o grau 1 (classificação muito forte). O excerto [10] apela à relação entre conhecimentos de vários sistemas do corpo humano mas ao nível de conhecimentos de ordem simples e, por isso, foi avaliado com o grau 2. O excerto [11] apela à relação entre conhecimentos de ordem complexa, dentro do mesmo tema. É de salientar que no documento Orientações Curriculares os sistemas nervoso e hormonal fazem parte da mesma unidade temática. Finalmente, no excerto [12] sugere-se a exploração de uma questão que apela à relação entre conhecimentos de ordem complexa de temas diferentes, relativos a vários sistemas do corpo humano. Este excerto foi, assim, avaliado com o grau 4 (classificação muito fraca).

Estes diversos instrumentos, com as respetivas adaptações, têm permitido inferir quanto ao nível de exigência conceptual de diferentes textos e contextos educacionais de ciências do sistema educativo português (ex.,

Afonso et al., 2013; Calado, Neves & Morais, 2014; Ferreira & Morais, 2014).

Tabela 1.6.
Exemplos da complexidade da relação entre discursos no currículo de Ciências Naturais do 3.º CEB.

[9]	Grau 1/C^{++} – "Os alunos podem pesquisar o valor energético de vários alimentos nos rótulos ou em listas dietéticas e interpretar dados que relacionem gastos energéticos do organismo em diferentes condições físicas." (*Orientações Curriculares 3.º ciclo*, p. 36)
[10]	Grau 2/C^{+} – "Os alunos devem conhecer certos efeitos do consumo de álcool, tabaco e droga e de alterações na prática de atividade física e nos hábitos de higiene sobre a integridade física e/ou psíquica do organismo." (*Orientações Curriculares 3.º ciclo*, p. 36)
[11]	Grau 3/C^{-} – "Partindo de situações familiares aos alunos (picadas, queimaduras, nervosismo em situação de avaliação), e realçando o carácter voluntário ou involuntário das reações, deve ser referido o papel do sistema nervoso (central e periférico) e do sistema hormonal na coordenação do organismo."* (*Orientações Curriculares 3.º ciclo*, p. 34) *Os sistemas nervoso e hormonal fazem parte da mesma unidade de ensino do currículo.
[12]	Grau 4/$C^{- -}$ – "Tomando como exemplo uma questão anteriormente sugerida, relativa à alteração do ritmo cardíaco, a sua exploração implica, essencialmente, noções relativas aos sistemas circulatório, respiratório e metabolismo (caso a situação que origina essa alteração seja, por exemplo, a prática desportiva), ou aos sistemas circulatório, nervoso e hormonal (caso seja uma situação que cause ansiedade ou que origine um susto)." (*Orientações Curriculares 3.º ciclo*, p. 34)

Nota. Adaptado de Afonso et al. (2013) e de Calado, Neves e Morais (2014).

Análise de currículos – *Workshop*

A exigência conceptual diz respeito ao nível de complexidade em educação científica, o qual pode ser traduzido pela complexidade do conhecimento científico, das relações entre conhecimentos distintos de uma dada disciplina científica e também pela complexidade das capacidades cognitivas. Este nível de exigência conceptual pode ser apreciado em textos oficiais, como o currículo ou os programas das disciplinas e também a partir de outros textos e contextos pedagógicos

como sejam, respetivamente, os manuais escolares e as práticas pedagógicas. A consciencialização do nível de exigência conceptual, presente no discurso pedagógico oficial e em outros textos e contextos pedagógicos, é importante para todos os que têm responsabilidades no campo da educação. No caso concreto dos professores, esse conhecimento pode ajudar a uma reflexão crítica dos documentos curriculares oficiais e de outros documentos pedagógicos e ainda à regulação da sua própria prática pedagógica.

Este *workshop* está direcionado para a análise da exigência conceptual veiculada nas Metas Curriculares de Ciências Naturais dos 8.º e 9.º anos, recorrendo-se para o efeito a instrumentos de análise concebidos no âmbito de alguns projetos de investigação do Grupo ESSA. Assim, começa-se por recordar os parâmetros de análise da exigência conceptual, os instrumentos utilizados e, seguidamente, procede-se à análise dos documentos, retirando da mesma as considerações mais relevantes.

Desenvolvimento do *workshop*

Parâmetros e instrumentos de análise. O documento em análise refere-se às Metas Curriculares de Ciências Naturais do 8.º e 9.º anos de escolaridade (MEC, 2013, 2014). No 8.º ano, foram selecionados para análise, no Domínio *Sustentabilidade na Terra* e Subdomínio *Ecossistemas*, o objetivo geral *Compreender a importância dos fluxos de energia na dinâmica dos ecossistemas* e todos os descritores associados. No 9.º ano, foram selecionados, no Domínio *Viver Melhor na Terra* e Subdomínio *Organismo humano em equilíbrio*, o objetivo geral *Sintetizar o papel do sistema hormonal na regulação do organismo* e os respetivos descritores. Cada um dos objetivos e cada um dos descritores representa uma unidade de análise. A Figura 1.1., anteriormente apresentada, evidencia que a apreciação do nível de exigência conceptual de cada uma das unidades implica a sua análise em termos da complexidade das capacidades cognitivas e dos conhecimentos científicos e também em termos das relações entre conhecimentos distintos de uma dada disciplina científica que, neste caso, é a disciplina de Ciências Naturais.

Como já referido, foram concebidos, no âmbito do Grupo ESSA, instrumentos para a caracterização dos vários parâmetros da exigência conceptual (Afonso et al., 2013; Ferreira & Morais, 2014). O instrumento a utilizar para a análise da complexidade das capacidades cognitivas baseia-se na taxonomia proposta por Anderson e colaboradores (2001) e apresenta uma escala de quatro graus (Tabela 1.1.). Além do recurso a este instrumento, a análise das metas curriculares pressupõe ter também presente os exemplos de capacidades cognitivas pertencentes aos vários graus da escala (Tabela 1.7.). De sublinhar que os exemplos apresentados nesta tabela não pretendem ser exaustivos.

Tabela 1.7.
Exemplos de capacidades cognitivas de diferentes graus de complexidade.

Grau 1		**Grau 2**	
Memorizar	Compreender (simples)	Compreender (complexa)	Aplicar (simples)
Conhecer Definir Designar Enumerar Enunciar Indicar Listar Relembrar	Descrever Exemplificar Identificar Ilustrar Legendar Observar Salientar Selecionar[a]	Comentar[a] Comparar[a] Distinguir[a] Explicar[a] Interpretar[a] Justificar[a] Prever[a] Relacionar[a]	Discutir Debater Mobilizar[a]
Grau 3		**Grau 4**	
Aplicar (complexa)	Analisar	Avaliar	Criar
Aplicar Mobilizar[b]	Categorizar Comentar[b] Comparar[b] Distinguir[b] Interpretar[b] Investigar (pesquisar, selecionar e organizar informação) Pesquisar Relacionar[b] Selecionar[b]	Argumentar Avaliar Criticar Julgar Prever[b] Resolver problemas Tomar decisões	Explicar[b] Formular hipóteses Formular problemas Justificar[b] Planear e realizar trabalhos

Notas: (a) Capacidade incluída em dois graus diferentes. A sua classificação neste grau terá em consideração a menor complexidade do processo cognitivo envolvido. (b) Capacidade incluída em dois graus diferentes. A sua classificação neste grau terá em consideração a maior complexidade do processo cognitivo envolvido. Adaptado de Afonso et al. (2013).

Para a análise do nível de complexidade do conhecimento científico, o instrumento utlizado contém uma escala com quatro graus, estando a diferença de complexidade dos graus baseada na distinção entre factos, conceitos simples, conceitos complexos e temas unificadores/teorias, pelo que o grau 1 corresponde aos factos, o grau 2 aos conceitos simples, o grau 3 aos conceitos complexos e o grau 4 aos temas unificadores e teorias (ver excerto do instrumento na Tabela 1.3).

Para exemplificação da análise da relação entre conhecimentos científicos, utiliza-se o instrumento, cujo excerto se apresentou na Tabela 1.5. Este instrumento possui também uma escala com quatro graus, cujo significado se baseia no conceito de classificação de Bernstein (1990, 2000) e ainda no grau de complexidade dos conhecimentos envolvidos na relação.

Análise dos textos. Com base nas dimensões de análise do nível de exigência conceptual acima explicitadas e utilizando os instrumentos de caracterização dessas dimensões, passa-se à análise de parte das Metas Curriculares de Ciências Naturais para os 8.º e 9.º anos, as quais já se encontram organizadas por unidades de análise. No entanto, dadas as limitações de tempo, esta análise centrar-se-á apenas na complexidade dos conhecimentos e das capacidades cognitivas. Este trabalho deve ser realizado em grupos[2] e não deve ir além de 60 minutos. De referir que é muito importante não reinterpretar a mensagem do documento oficial, devendo a análise centrar-se apenas no que está escrito. Porém, em relação à classificação das capacidades cognitivas, o verbo utilizado nos descritores (unidades de análise) nem sempre é representativo da capacidade cognitiva envolvida, sendo fundamental a identificação dos processos cognitivos. É igualmente importante que, ao analisar o objetivo geral e respetivos descritores, se tenha em mente que o grau de complexidade do objetivo terá que ser igual ou superior ao maior grau atribuído aos descritores, devendo para isso a análise incidir primeiramente nos descritores e só depois no objetivo geral. Após todos os grupos terem concluído as análises, procede-se à sua discussão geral.

[2] No workshop realizado, dado os espaços disponíveis, não foi possível fazer grupos, como estava previsto, tendo a discussão sido feita a pares.

Discussão da análise dos textos. No sentido de proceder à discussão geral do trabalho realizado pelos diferentes grupos, parte-se da análise de cada unidade, feita por um dos grupos, e coloca-se em confronto com a análise dos outros grupos, de modo a chegar-se a um consenso. Com base nesta discussão, e na análise feita previamente pelo grupo que organizou e orientou este *workshop*, apresenta-se, na Tabela 1.8., uma proposta de análise[3] das Metas Curriculares de Ciências Naturais do 8.º ano e, na Tabela 1.9., uma proposta de análise das Metas Curriculares de Ciências Naturais do 9.º ano.

Tabela 1.8.
Resultados da análise das metas curriculares de Ciências Naturais do 8.º ano.

Metas Curriculares – Ciências Naturais 8.º ano		**Análise**	
		Complexidade das capacidades cognitivas	Complexidade dos conhecimentos científicos
Subdomínio "Ecossistemas"	***7. Compreender a importância dos fluxos de energia na dinâmica dos ecossistemas* (p. 19)**	**Grau 2**	**Grau 3**
	7.1. Indicar formas de transferência de energia existentes nos ecossistemas.	**Grau 1**	**Grau 3**
	7.2. Construir cadeias tróficas de ambientes marinhos, fluviais e terrestres.	**Grau 2**	**Grau 2**
	7.3. Elaborar diversos tipos de cadeias tróficas a partir de teias alimentares.	**Grau 1**	**Grau 2**
	7.4. Indicar impactes da ação humana que contribuam para a alteração da dinâmica das teias alimentares.	**Grau 1**	**Grau 1**
	7.5. Discutir medidas de minimização dos impactes da ação humana na alteração da dinâmica dos ecossistemas.	**Grau 2**	**Grau 2**

[3] A ambiguidade do documento das *Metas Curriculares de Ciências Naturais* devido, no caso das capacidades, aos verbos utilizados nem sempre claros e, no caso dos conhecimentos, à não explicitação dos conceitos de modo a que se perceba a profundidade com que vão ser tratados, pode levar a uma análise com diferentes graus de complexidade das capacidades cognitivas e dos conhecimentos científicos.

Metas Curriculares – Ciências Naturais 8.º ano	**Análise**	
	Complexidade das capacidades cognitivas	Complexidade dos conhecimentos científicos
***8. Sintetizar o papel dos principais ciclos de matéria nos ecossistemas* (p. 20)**	**Grau 4**	**Grau 3**
8.1. Explicar o modo como algumas atividades dos seres vivos (alimentação, respiração, fotossíntese) interferem nos ciclos de matéria.	**Grau 4**	**Grau 3**
8.2. Explicitar a importância da reciclagem da matéria na dinâmica dos ecossistemas.	**Grau 2**	**Grau 3**
8.3. Interpretar as principais fases do ciclo da água, do ciclo do carbono, do ciclo do oxigénio e do ciclo do azoto, a partir de esquemas.	**Grau 2**	**Grau 2**
8.4. Justificar o modo como a ação humana pode interferir nos principais ciclos de matéria e afetar os ecossistemas.	**Grau 2**	**Grau 2**

Pela análise efetuada, constata-se que este processo não é simples e requer grande atenção, uma vez que, como se referiu anteriormente, nem sempre o verbo utilizado nos descritores (unidades de análise) é representativo da capacidade cognitiva envolvida. Por exemplo, quando se consideram os descritores 7.2. e 7.3., poder-se-ia pensar que estavam envolvidas as mesmas capacidades cognitivas. No entanto, no descritor 7.2. é pressuposta uma compreensão mais complexa do que no descritor 7.3. Em 7.2., os alunos, para construírem as cadeias alimentares, necessitam conhecer seres de diferentes meios (marinhos, fluviais e terrestres), a sua alimentação e as relações tróficas entre eles. Em 7.3., basta saberem fazer a leitura de uma teia alimentar, uma vez que toda a informação de que necessitam está presente e organizada. Deste modo, no descritor 7.2. estão envolvidos processos cognitivos como *classificar* e *comparar* que não estão presentes em 7.3., pois neste estão apenas envolvidos processos cognitivos de *clarificar* e *exemplificar*.

Tabela 1.9.
Resultados da análise das metas curriculares de Ciências Naturais do 9.º ano.

	Metas Curriculares – Ciências Naturais 9.º ano	**Análise**	
		Complexidade das capacidades cognitivas	Complexidade dos conhecimentos científicos
Subdomínio "Organismo humano em equilíbrio"	***13. Sintetizar o papel do sistema hormonal na regulação do organismo* (p. 6)**	**Grau 4**	**Grau 3**
	13.1. Distinguir os conceitos de glândula, de hormona e de célula alvo.	**Grau 2**	**Grau 2**
	13.2. Localizar as glândulas endócrinas: glândula pineal, hipófise, hipotálamo, ilhéus de Langerhans, ovário, placenta, suprarrenal, testículo, tiroide.	**Grau 1**	**Grau 1**
	13.3. Referir a função das hormonas: adrenalina, calcitonina, insulina, hormona do crescimento, e melatonina.	**Grau 1**	**Grau 2**
	13.4. Explicar a importância do sistema neuro-hormonal na regulação do organismo.	**Grau 4**	**Grau 3**
	13.5. Caraterizar, sumariamente, três doenças do sistema hormonal.	**Grau 1**	**Grau 1**
	13.6. Descrever dois contributos da ciência e da tecnologia para minimizar os problemas associados ao sistema hormonal.	**Grau 1**	**Grau 2**
	13.7. Indicar medidas que visem contribuir para o bom funcionamento do sistema hormonal.	**Grau 1**	**Grau 1**

Nos descritores 13.2. e 13.5. também se verifica um desfasamento entre o verbo e a capacidade cognitiva envolvida (Tabela 1.9.). Em ambos os descritores, os verbos utilizados (respetivamente localizar e caracterizar) estão ao nível da categoria *memorizar*, uma vez que em 13.2. se pretende que os alunos recordem onde estão as glândulas endócrinas referidas e em 13.5. que os alunos indiquem as características de três doenças do sistema hormonal.

Apesar de não se pretender reinterpretar a mensagem do documento, também quando se consideram os objetivos gerais 8 e 13 e os respetivos descritores, o verbo *sintetizar* em vez de aparecer com o significado de *resumir* deveria ser substituído por *explicar*. Em face dos descritores apresentados, o verbo *sintetizar* dos objetivos gerais parece inadequado.

Decorrente da análise efetuada, poder-se-ão destacar algumas ideias sobre a exigência conceptual, veiculada nas metas curriculares, que se passam a sistematizar:

(1) As metas curriculares, quando se considera a conceptualização das capacidades cognitivas e dos conhecimentos científicos, apresentam um baixo nível de exigência conceptual.

(2) Nas metas curriculares analisadas não se encontram temas unificadores, predominando conhecimentos com baixo nível de complexidade (graus 1 e 2). Note-se que o título de cada um dos subdomínios apresentados não é suficiente para integrar os diversos conhecimentos considerados em cada um desses subdomínios, sendo necessária a introdução de uma ideia/meta organizadora, pelo menos para cada subdomínio. Embora admitindo que um documento desta natureza deva ser sintético, os autores poderiam ter optado por conhecimentos complexos, tendo os professores de inferir os conhecimentos de menor nível de complexidade. Deste modo, a organização do documento, tal como está, pressupõe que o conhecimento científico seja explorado de forma segmentada, sem articulação entre os diferentes assuntos.

(3) Quanto ao nível de complexidade das capacidades cognitivas – que surgem inerentes aos objetivos gerais e aos respetivos descritores – as metas centram-se em processos cognitivos de baixo nível de complexidade, prevalecendo os níveis mais baixos das duas primeiras categorias da Taxonomia revista de Bloom, respetivamente, *memorizar* e *compreender*. Não se pretende defender que as metas curriculares sejam caracterizadas apenas por elevados níveis de complexidade dos processos cognitivos, mas o inverso também não deve ser verdade. Sem desvalorizar o papel da memorização no processo de ensino/aprendizagem, os autores

das metas curriculares deveriam ter elevado o nível de exigência de modo a existir um equilíbrio entre capacidades simples e complexas.

(4) Ainda no que respeita à análise das capacidades cognitivas, mas tomando o caso específico das capacidades de processos científicos – formas de pensamento mais diretamente envolvidas na investigação científica – verificou-se que estas estavam ausentes das unidades analisadas. Dada a importância destas capacidades num currículo de ciências, como é defendido por vários autores (ex., Hofstein & Kind, 2012; Hofstein & Naaman, 2007; Lunetta, Hofstein & Clough, 2007), é preocupante que isto aconteça, uma vez que na parte do documento que não foi analisada neste *workshop* a tendência é também nesse sentido, isto é, estas capacidades de processos científicos estão pouco representadas.

(5) Para além de todos os aspetos já mencionados, acresce ainda referir a existência, num mesmo descritor, de conhecimentos e capacidades cognitivas com níveis de complexidade muito díspares. Grandes discrepâncias entre os graus atribuídos aos conhecimentos e às capacidades podem levantar dúvidas quanto ao seu interesse no processo de ensino/aprendizagem. Por exemplo, tendo em conta o descritor 7.1., será possível adquirir conhecimento de nível elevado – conceitos complexos – apelando apenas à memorização?

(6) Há descritores que, pela forma como estão formulados se centram num baixo nível de exigência conceptual, mas que contêm conceitos que podem ser muito complexos, como é por exemplo o caso da "dinâmica dos ecossistemas" referida do descritor 7.5. Este facto torna evidente a necessidade de explicitar de forma bem clara os principais conceitos de um currículo, de modo a que todos os seus utilizadores saibam a que profundidade esses conceitos se destinam a ser apreendidos pelos alunos. E também, neste aspeto, as metas curriculares apresentam graves lacunas.

A exigência conceptual depende também da complexidade das relações entre conhecimentos distintos. Embora este parâmetro do nível de exigência conceptual não fosse objeto de análise pelos grupos do workshop, exemplifica-se essa análise considerando os descritores 13.1. e 13.4. das metas curriculares do 9.º ano (Tabela 1.9.) e o instrumento atrás

descrito (Tabela 1.5.). O descritor 13.1. apela à relação entre conhecimentos de ordem simples dentro do mesmo tema, pelo que deve ser classificado com o grau 1 (C^{++}). O descritor 13.4. apela à relação entre conhecimentos de ordem complexa, entre temas diferentes, uma vez que os sistemas nervoso e hormonal, no documento das metas curriculares, fazem parte de unidades diferentes, devendo ser classificado com o grau 4 (C^{--}).

Considerações finais

Pelo trabalho desenvolvido neste *workshop*, é possível constatar que os instrumentos de análise utilizados permitem a obtenção de dados sobre o grau de conceptualização das Metas Curriculares de Ciências Naturais e, desse modo, fundamentar a reflexão que se faz das mesmas. Não basta dizer que não se concorda com este ou outro documento só porque ele não vai ao encontro dos princípios pedagógicos e ideológicos de quem discorda dele. É fundamental que a argumentação seja sustentada em dados objetivos e recolhidos por processos metodológicos credíveis. Com efeito, obtiveram-se dados que permitem concluir que as metas curriculares de ciências apelam a um baixo nível de conceptualização, ainda mais baixo do que o apresentado no documento das orientações curriculares que o antecedeu, tal como evidenciado pela investigação (ex., Calado, Neves & Morais, 2014). Com base nessa conclusão, a discussão que se segue às análises dos documentos centra-se nos efeitos que aquele baixo nível de conceptualização poderá ter no processo de ensino/aprendizagem.

Ao admitir-se que a qualidade do sucesso das aprendizagens dos alunos deve ser uma das principais preocupações daqueles que têm responsabilidades no campo educativo, nomeadamente daqueles que têm responsabilidades na produção do discurso pedagógico oficial, devem ser questionadas as implicações que estas metas curriculares podem ter nos níveis de literacia dos alunos e, consequentemente, na qualidade do sucesso das suas aprendizagens. De acordo com a OCDE (1999), formar cidadãos cientificamente literados significa preparar os indivíduos com "a capacidade de usar o conhecimento científico, de identificar questões e de

elaborar conclusões baseadas em evidências, de forma a compreender e a ajudar a tomar decisões sobre o mundo natural e sobre as suas alterações provocadas pela atividade humana" (p. 60). De acordo com o nível de conceptualização dos conhecimentos e das capacidades veiculados nas metas curriculares, admite-se que estas não darão um grande contributo para a formação de cidadãos literados, pois parece haver um grande desfasamento entre as capacidades e os conhecimentos valorizados neste conceito de literacia científica e os valorizados nas metas curriculares. Deverá o professor, perante este cenário, cruzar os braços e refugiar-se no discurso pedagógico oficial? Com base no trabalho que tem sido desenvolvido (ex., Silva, Morais & Neves, 2014b), considera-se que esta não é uma situação inevitável, dependendo da formação dos professores e dos seus princípios pedagógicos e ideológicos. Um professor com uma formação científica e pedagógica sólidas e com princípios ideológicos que valorizem a importância de oferecer a todos os alunos uma elevada literacia científica, poderá recontextualizar o discurso pedagógico do documento das metas curriculares no sentido de aumentar o nível de exigência conceptual presente nesse discurso. Embora uma prática pedagógica de sala de aula deva, em princípio, reproduzir a mensagem do discurso pedagógico oficial, essa reprodução nunca é total, existindo sempre um potencial espaço de mudança quando se passa de um contexto para o outro. Contudo, esse espaço de mudança só será utilizado para promover uma prática conducente ao aumento de exigência conceptual, se o professor tiver competência científica e pedagógica para o fazer e se essa for a sua ideologia.

Os instrumentos utilizados na análise das metas curriculares podem ser também utilizados na análise de manuais escolares ou de testes de avaliação. Por exemplo se, na escola, os professores recorrerem a estes instrumentos para analisarem o nível de conceptualização dos testes de avaliação, isso pode ajudá-los não só a compreenderem alguns dos desempenhos dos alunos, mas também ajudá-los a alterar a conceção dos testes e da sua prática pedagógica, já que estes dois processos se regulam mutuamente.

Resultados da investigação

Críticas recentes aos currículos de ciências em diferentes países (ex., Bybee, 2003; Bybee & Scotter, 2007; Young, 2009) indicam que esses currículos: não apresentam conteúdo desafiador, dando ênfase a factos e descurando conceitos; não têm um foco instrucional sendo os conteúdos tratados de forma superficial; não apresentam relações verticais e horizontais dos conteúdos, isto é, estão ausentes relações entre conhecimentos científicos e processos científicos nas dimensões horizontal e vertical do currículo.

No caso de Portugal, é deficiente o conhecimento sobre a educação científica promovida pelas escolas. Não se sabe se as críticas apontadas a outros currículos se aplicam aos portugueses. Faltam estudos transversais e longitudinais sobre o que os alunos portugueses aprendem, concretamente os conhecimentos e as capacidades que adquirem e desenvolvem na escola. Com o trabalho que diversas investigadoras do Grupo ESSA têm vindo a desenvolver (ex., Afonso et al., 2013; Ferreira & Morais, 2014; Silva, Morais & Neves, 2014a), tem-se procurado dar um contributo para a obtenção de dados que possam colmatar esta lacuna.

Atendendo a que o nível de exigência conceptual é uma variável muito relevante na determinação de uma educação científica de qualidade e que a educação nos primeiros anos é responsável pela construção dos alicerces onde se vão sustentar as novas aprendizagens, a investigação realizada teve como finalidade central conhecer o nível de exigência conceptual promovido ao longo de todo o ensino básico e envolveu a análise de uma grande diversidade de documentos. Os resultados de investigação que se apresentam estão centrados na investigação realizada por Afonso e colaboradoras (2013).

Aspetos metodológicos

Os documentos analisados vão desde os que contêm o discurso pedagógico oficial (documento das competências essenciais e documentos das orientações curriculares, dos nove anos de escolaridade do ensino básico, aos documentos que recontextualizam esse discurso (manuais

escolares – os manuais mais escolhidos a nível nacional por ano de escolaridade) e a prática pedagógica dos professores, inferida através das fichas de avaliação aplicadas aos seus alunos (com uma amostragem nacional, no litoral e no interior, por todas as regiões – norte, centro e sul – do país).

Apesar de o documento das competências essenciais ter deixado de ser um documento orientador do ensino básico (DEB, 2001) e, como tal, deixar de ser uma referência para os documentos oficiais[4], importa apresentar os dados da sua análise para os poder comparar com os das metas curriculares (MEC, 2013, 2014), documento substituto atualmente em vigor.

Nesta investigação foram analisados diversos parâmetros de exigência conceptual. Dois dos parâmetros que se apresentam, estão relacionados com *o que* do ensino/aprendizagem, isto é, com os conhecimentos científicos e as capacidades cognitivas e o terceiro está relacionado com *o como* do ensino/aprendizagem em termos de relação entre discursos – relação entre conhecimentos científicos (ver Figura 1.1.). Tal como referido anteriormente, a aquisição de conceitos simples e complexos e mesmo de teorias e temas unificadores, e não apenas de factos, é essencial a uma educação científica de nível elevado. A mobilização de capacidades de nível elevado, como a análise e a síntese, e não apenas a memorização e a compreensão de ideias simples, é igualmente essencial a uma educação científica de nível elevado. A relação entre discursos é, também, fundamental. Uma relação, frequente e profunda, entre conhecimentos científicos simples e complexos, sobre o mesmo tema ou sobre temas diferentes, é crucial para a aquisição de conceitos mais amplos e, em particular, de temas e teorias unificadoras.

Os instrumentos utilizados para a caracterização de cada um dos parâmetros de exigência conceptual – conhecimentos científicos, capacidades cognitivas e relação entre discursos – têm quatro graus de

[4] No ano letivo 2011/2012, o Ministério da Educação revogou o documento Currículo Nacional do Ensino Básico – Competências Essenciais (DEB, 2001), através do Despacho n.º 17169/2011, ficando apenas vigentes os programas/orientações curriculares das disciplinas.

complexidade e foram construídos na sequência de estudos diversos desenvolvidos no âmbito do Grupo ESSA (Alves & Morais, 2012; Calado & Neves, 2012; Ferreira & Morais, 2014; Morais & Neves, 2009; Pires, 2001). A atribuição de grau 1 correspondeu a níveis de complexidade baixos, o grau 4 correspondeu a níveis de complexidade elevados e os graus 2 e 3 a níveis de complexidade intermédios (ver Tabelas 1.1., 1.3. e 1.5.).

De forma a analisar os documentos curriculares, os respetivos textos foram organizados em quatro secções – Conhecimentos, Finalidades, Orientações Metodológicas e Avaliação – de acordo com a natureza da informação que esses textos contêm. No entanto, atendendo a limitações de espaço, apenas são apresentados os resultados globais dos 1.º, 2.º e 3.º ciclos do ensino básico em relação aos documentos das competências essenciais (CE), das orientações curriculares/programas (OC/Prog) e da prática pedagógica dos professores (PP) analisada através das suas fichas de avaliação. Além disso, procedeu-se à organização dos textos em unidades de análise. Considerou-se como unidade de análise um excerto do texto, com um ou mais períodos, que no seu conjunto tivesse um certo significado semântico.

Resultados

Conhecimentos científicos. Serão os factos e os conceitos simples os conhecimentos mais presentes ou, pelo contrário, serão os conceitos complexos, as teorias e os amplos quadros conceptuais a ter lugar de destaque nos documentos dos três ciclos do ensino básico? Para responder a esta questão apresenta-se, em primeiro lugar, os resultados da análise dos conhecimentos científicos valorizados nesses documentos (Figura 1.9.). Uma análise geral desses resultados permite verificar algumas semelhanças e padrões, entre os três ciclos de educação básica, dos quais se destacam os seguintes:

- Os resultados gerais, por documento, apontam para uma exigência conceptual mais elevada das competências essenciais seguida das orientações curriculares/programas e, finalmente, da prática pedagógica

dos professores, que apresenta conhecimentos científicos de nível mais baixo.

- Os quatro graus nem sempre estão presentes nos documentos dos três ciclos do ensino básico. Nas competências essenciais e nos programas do 1.º ciclo, bem como na prática pedagógica dos professores dos 1.º e do 2.º ciclos, os conhecimentos de grau 4 não têm qualquer representatividade.

- Em todos os ciclos, a percentagem de unidades de análise de grau 1 e de grau 2, graus correspondentes a níveis mais baixos de exigência, vai aumentando à medida que se passa das competências essenciais, para as orientações curriculares/programas e para a prática pedagógica dos professores. Concomitantemente, a representatividade dos graus 3 e 4 vai diminuindo. O grau 4 chega mesmo a estar (praticamente) ausente na prática pedagógica dos professores dos três ciclos, isto é, conhecimentos científicos mais complexos não foram, praticamente, objeto de avaliação.

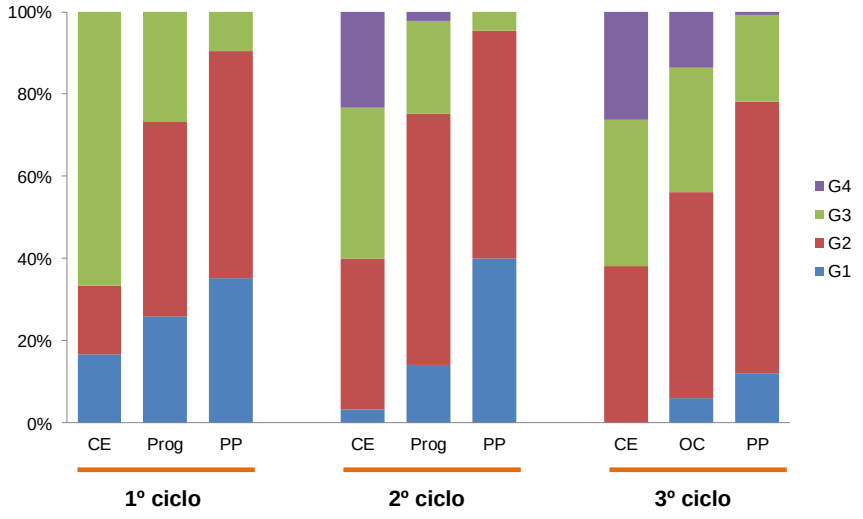


Figura 1.9. Nível de exigência conceptual dos conhecimentos científicos nos documentos educacionais competências essenciais (CE), Orientações curriculares/programas (OC/Prog) e prática pedagógica dos professores (PP) nos três ciclos de educação básica (adaptado de Afonso et al., 2013).

Uma análise mais detalhada dos dados da Figura 1.9., agora por ciclo, permite verificar que:

- O 1.º ciclo é, de todos, o que apresenta níveis mais baixos de exigência conceptual. O grau 4 não tem qualquer representatividade pois está praticamente ausente, em qualquer dos documentos analisados. Quanto a conhecimentos a que se atribuiu o grau 3, estes encontram-se bem representados nas competências essenciais (cerca de 70%), mas nos programas já são apenas cerca de 30% e são ainda menos na prática pedagógica dos professores (menos de 10%). Nos programas dos quatro anos de escolaridade e, particularmente, nas fichas de avaliação dos professores apenas foram atribuídos os graus 3 e 4 em algumas situações.

- No 2.º ciclo os níveis de exigência conceptual são mais elevados que no 1.º ciclo mas, ainda assim, rareiam conhecimentos científicos de grau 4 nos programas e não têm representatividade na prática pedagógica dos professores. Nas competências essenciais há um número reduzido de conhecimentos de grau 1 e uma presença razoável de graus 2, 3 e 4. Os programas são caracterizados por uma percentagem razoável de grau 1 e, particularmente, de grau 2 (num total que ronda os 80%), alguma presença de conhecimentos de grau 3 e uma percentagem reduzida de conhecimentos de grau 4 (menos de 5%). A prática pedagógica dos professores valoriza conhecimentos científicos de grau 1 (cerca de 40%), de grau 2 (cerca de 55%) e de grau 3 (cerca de 5%), não tendo os conhecimentos de grau 4 qualquer expressividade.

- No 3.º ciclo, a exigência é superior à dos outros ciclos, em qualquer um dos documentos. Verifica-se, no entanto, uma diminuição dessa exigência quando se passa do documento das competências essenciais para os restantes documentos. As fichas de avaliação dos professores, que permitem inferir quanto ao nível de exigência da respetiva prática pedagógica, apresentam um número reduzido de questões de grau 3 e um número quase insignificante de questões de grau 4.

Capacidades cognitivas. A Figura 1.10. apresenta os resultados da investigação relacionados com a natureza, simples ou complexa, das capacidades cognitivas referenciadas nos documentos – competências

essenciais, orientações curriculares/programas e prática pedagógica dos professores – dos três ciclos do ensino básico.

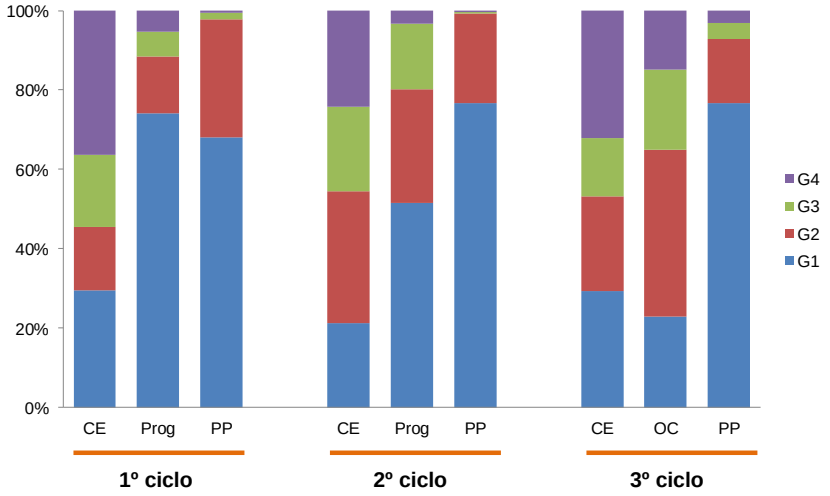


Figura 1.10. Nível de exigência conceptual das capacidades cognitivas nos documentos educacionais competências essenciais (CE), Orientações curriculares/programas (OC/Prog) e prática pedagógica dos professores (PP) nos três ciclos de educação básica (adaptado de Afonso et al., 2013).

Começando por uma análise geral dos resultados, é possível identificar algumas semelhanças entre os três ciclos de educação básica:

- A exigência conceptual volta a ser, como no caso dos conhecimentos, mais elevada nas competências essenciais decrescendo essa exigência à medida que se passa para as orientações curriculares/programas e destes para a prática pedagógica dos professores.

- Os documentos das competências essenciais, orientações curriculares/programas e prática pedagógica dos professores, dos 1.º e 3.º ciclos, apresentam capacidades cognitivas dos quatro graus embora sem representatividade na prática pedagógica dos professores do 1.º ciclo. Pode verificar-se que nos três ciclos o documento com maior exigência conceptual é o das competências essenciais e o de menor exigência é o da prática pedagógica dos professores. Em termos comparativos, o 3.º ciclo é

o que apresenta maior exigência conceptual em relação às capacidades cognitivas.

- As capacidades cognitivas de grau 1 têm grande expressividade em qualquer um dos documentos, particularmente nos que se relacionam com a prática pedagógica dos professores. Quanto às capacidades cognitivas de grau 4, têm uma representatividade razoável no documento das competências essenciais, mas estão praticamente ausentes na prática pedagógica dos professores.

Uma análise mais detalhada dos dados da Figura 1.10., agora por ciclo, permite verificar que:

- No 1.º ciclo, os quatro graus estão presentes em todos os documentos, no entanto a proporção dessa presença difere de documento para documento. As competências essenciais apelam a capacidades cognitivas dos diversos graus, sendo que a percentagem dos graus mais elevados (graus 3 e 4) é superior à percentagem dos graus mais baixos (graus 1 e 2), o que significa que apelam a alguma exigência. Contudo, quando se passa para os programas, a situação é bem diferente. Verifica-se que quase 90% das capacidades são de graus 1 e 2 e os restantes 10% distribuídos de forma semelhantes entre os graus 3 e 4. Na prática pedagógica dos professores identifica-se cerca de 98% de graus 1 e 2 (e destes, cerca de 60% são de grau 1), sendo os restantes 2% distribuídos pelos graus 3 e 4.

- No 2.º ciclo, a percentagem de graus 1 e 2 é de cerca de 50% nas competências essenciais (e os restantes 50% estão distribuídos de forma mais ou menos semelhante, pelos graus 3 e 4), cerca de 80% nos programas (sendo os restantes 20% distribuídos maioritariamente pelo grau 3) e quase 100% na prática pedagógica dos professores.

- No 3.º ciclo, todos os documentos apresentam capacidades cognitivas dos quatro graus, mas a representatividade dos graus 1 e 2 é bastante maior do que a dos graus 3 e 4. Verifica-se que, nas competências essenciais, a percentagem de graus 1 e 2 é de cerca de 50% e estando os restantes 50% distribuídos pelo grau 3 (cerca de 10%) e pelo grau 4 (cerca de 40%); nas orientações curriculares estes graus surgem em cerca de

70%, sendo os restantes 30% distribuídos de forma mais ou menos equitativa pelos graus 3 e 4; na prática pedagógica dos professores mais de 90% corresponde à presença de capacidades de graus 1 e 2, sendo que os restantes 10% estão distribuídos de forma semelhante pelos graus 3 e 4.

Sintetizando o conjunto de resultados relativos aos conhecimentos científicos e às capacidades cognitivas, ressalta o seguinte: (1) a exigência conceptual é globalmente baixa, mas é mais baixa em relação às capacidades cognitivas do que em relação aos conhecimentos científicos; (2) o documento das competências essenciais é, em termos relativos, o que apresenta maior grau de exigência conceptual enquanto a prática pedagógica dos professores, apreciada em função das suas fichas de avaliação, apresenta o menor grau de exigência; e (3) o 1.º ciclo apresenta, globalmente, menor exigência conceptual nos dois parâmetros e o 3.º ciclo é o que apresenta, globalmente, maior exigência conceptual.

Relação entre discursos (relação entre conhecimentos científicos). A Figura 1.11. apresenta os resultados que se referem ao estabelecimento de relações entre os conhecimentos científicos referenciados nos documentos – competências essenciais, orientações curriculares/programas e prática pedagógica dos professores – dos três ciclos do ensino básico. Uma análise geral dos resultados permite verificar algumas semelhanças entre os três ciclos de educação básica:

- A exigência conceptual é mais elevada nas competências essenciais decrescendo à medida que se passa para as orientações curriculares/programas e para a prática pedagógica dos professores.

- Os quatro graus estão presentes em todos os documentos dos três ciclos do ensino básico, mas a proporção de graus 1, 2, 3 e 4 varia de documento/ano para documento/ano.

- O grau 1 das relações intradisciplinares, que pressupõe a relação entre conhecimentos de ordem simples dentro do mesmo tema, tem grande expressividade em qualquer um dos ciclos de ensino e, particularmente, na prática pedagógica dos professores. Pelo contrário, as relações intradisciplinares classificadas com o grau 4, relativas à relação entre

conhecimentos de ordem complexa de temas diferentes, têm alguma representatividade no documento das competências essenciais, mas estão praticamente ausentes na prática pedagógica dos professores.

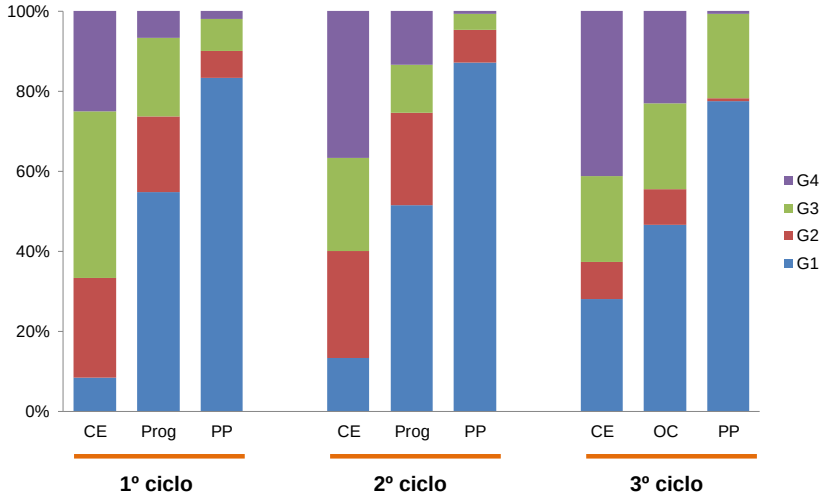


Figura 1.11. Nível de exigência conceptual da relação entre conhecimentos nos documentos educacionais competências essenciais (CE), Orientações curriculares/programas (OC/Prog) e prática pedagógica dos professores (PP) nos três ciclos de educação básica (adaptado de Afonso et al., 2013).

Uma análise mais detalhada dos dados da Figura 1.11., agora por ciclo, permite verificar o seguinte:

- No 1.º ciclo as competências essenciais apelam à relação entre discursos dos diversos graus sendo que cerca de 30% são de graus 1 e 2 e cerca de 70% das unidades são de graus 3 e 4, o que significa que apelam a alguma exigência conceptual. No entanto, quando se passa para os programas, verifica-se que a situação se inverte, pois, agora, a percentagem de graus 1 e 2 é de cerca de 70% sendo de graus 3 e 4 cerca de 30%. Na prática pedagógica dos professores identifica-se cerca de 90% de graus 1 e 2 (e destes cerca de 80% são de grau 1), sendo a restante percentagem distribuída pelo grau 3 e (alguma/pouca) pelo grau 4.

- No 2.º ciclo a percentagem de graus 1 e 2, nas competências essenciais, é de cerca de 40%, estando os restantes 60% distribuídos pelo grau 3 (cerca de 20%) e pelo grau 4 (cerca de 40%); nos programas, 75% correspondem a capacidades dos graus 1 e 2, sendo os restantes 25% distribuídos de forma mais ou menos semelhante entre os graus 3 e 4; e, na prática pedagógica dos professores, mais de 95% correspondem a capacidades dos graus 1 e 2, estando o grau 1 representado em cerca de 90% e o grau 4 praticamente ausente.

- No 3.º ciclo a percentagem de graus 1 e 2 é de cerca de 40% nas competências essenciais, estando os restantes 60% distribuídos pelo grau 3 (cerca de 20%) e pelo grau 4 (cerca de 40%); nas orientações curriculares, os graus 1 e 2 estão representados em 50%, sendo os restantes 50% distribuídos de forma mais ou menos semelhante entre os graus 3 e 4; e, na prática pedagógica dos professores mais de 80% correspondem aos graus 1 e 2, sendo os 80% quase exclusivamente de grau 1, e estando o grau 4 praticamente ausente.

Sintetizando o conjunto de resultados relativos às relações entre conhecimentos científicos, pode referir-se que eles revelam um padrão semelhante ao que foi observado para as outras duas dimensões do nível de exigência conceptual: (1) diminuição da exigência conceptual, traduzida pelo aumento da percentagem de grau 1 e da diminuição da percentagem de grau 4 à medida que se passa do documento das competências essenciais para as orientações curriculares/programas e, finalmente, para a prática pedagógica dos professores; e (2) em termos relativos, o 3.º ciclo apresenta, novamente, maior exigência conceptual e o 1.º ciclo menor exigência.

Quando se comparam os níveis de complexidade dos três parâmetros de exigência conceptual, pode verificar-se que o nível da relação entre conhecimentos é, globalmente e, em termos relativos, mais baixo. No entanto, este resultado não surpreende. Atendendo a que os documentos analisados apelam predominantemente a conhecimentos científicos de graus 1 e 2, não é possível estabelecer uma relação profunda e alargada entre estes conhecimentos de forma a chegar-se a conceitos complexos e

esquemas conceptuais. Por outro lado, o incentivo a capacidades predominantemente de nível baixo não permite o desenvolvimento e a mobilização de capacidades cognitivas complexas, como a análise, a síntese e a criação, essenciais para se atingirem níveis conceptuais elevados.

Considerações finais

Decorrente dos resultados obtidos na investigação apresentada, é importante destacar algumas ideias centrais sobre a exigência conceptual no ensino básico. Em primeiro lugar, os documentos analisados revelam níveis baixos de exigência conceptual e estes tendem a ser cada vez mais baixos à medida que se passa do documento das competências essenciais para as orientações curriculares/programas e para a prática pedagógica dos professores (fichas de avaliação). Este baixo nível de exigência conceptual prejudica fortemente o processo de ensino/aprendizagem e compromete a qualidade do sucesso das aprendizagens. Estes factos são particularmente gravosos para os alunos pertencentes a grupos sociais desfavorecidos pois são eles que muito dificilmente terão possibilidades de colmatar fora da escola as deficiências do baixo nível de conceptualização que lhes está a ser oficialmente oferecido. Não se defende que sejam apenas valorizados conhecimentos científicos, capacidades cognitivas ou relações entre conhecimentos de complexidade elevada, mas sim que haja um equilíbrio entre conhecimentos científicos, capacidades cognitivas ou relações entre conhecimentos simples e complexos, concretos e abstratos.

Nesta investigação não se analisaram as metas curriculares (MEC, 2013, 2014). Noutros estudos (ver, por exemplo, a análise efetuada no *workshop*, previamente apresentado) é possível verificar, de entre outros aspetos, que quando se considera a conceptualização dos conhecimentos científicos, as metas apresentam um baixo nível de exigência conceptual, sem temas unificadores, predominando conhecimentos com baixo nível de complexidade. Quanto à conceptualização das capacidades cognitivas, as metas centram-se em processos cognitivos de baixo nível de complexidade. Apesar da análise do nível de exigência conceptual das metas curriculares necessitar de maior desenvolvimento na direção de uma

mais elevada pormenorização, é possível referir que a substituição do documento das competências essenciais pelos documentos das metas, que se encontram atualmente em vigor, parece não ter sido uma boa opção.

Em face do trabalho apresentado, verifica-se que muitas das críticas apontadas aos currículos internacionais, e que foram anteriormente assinaladas, aplicam-se aos currículos do ensino básico português, pois foi evidente que, frequentemente, não apresentam um conteúdo desafiador, dando ênfase a factos e descurando os conceitos, que os conteúdos são tratados de forma superficial e que não são fomentadas as relações verticais e horizontais dos conhecimentos e dos processos científicos.

Por que razão tal acontece? Podem apontar-se algumas explicações plausíveis. O discurso pedagógico oficial, contido nos documentos das competências essenciais e das orientações curriculares/programas pode estar formulado (o que frequentemente acontece) de modo demasiado abrangente e vago, tornando a sua aplicabilidade sujeita a grandes recontextualizações e desvios dos princípios a eles inerentes. É importante que os currículos deixem bem explícitos os principais conhecimentos e capacidades cognitivas a desenvolver e as relações entre conhecimentos a estabelecer, de modo a que todos os seus utilizadores saibam a que profundidade devem ser explorados e a que nível os alunos os devem dominar, em cada um dos ciclos do ensino básico. Por outro lado, parece que a própria valorização da exigência conceptual não é feita nos documentos oficiais, pelo menos de forma explícita, o que pode levar a que os professores, por sua vez, também não a valorizem nas suas práticas.

Como ultrapassar esta situação? Superar este problema, de forma a conduzir a uma melhoria da educação científica de todos os alunos, passa pela alteração de algumas políticas educativas, nomeadamente:

- *Visão global e integrada do ensino básico das ciências*. "É necessário integrar as mensagens dos documentos (como os programas e as orientações curriculares), os contextos (escola, sala de aula, espaços exteriores à escola), os materiais (de apoio científico e pedagógico para professores e alunos) e os agentes educativos (professores, alunos, pais, comunidade geral)" (Afonso et al., 2013, p. 82).

- *Valorização da exigência conceptual, como dimensão de uma educação científica com significado*. A promoção de níveis elevados de exigência conceptual é essencial em qualquer nível de ensino.

- *Produção de materiais de apoio, para professores e para alunos, de elevada qualidade conceptual e processual*. Tais materiais facilitariam a promoção de níveis elevados de exigência conceptual.

- *Coerência curricular horizontal e vertical*. Coerência quer na aprendizagem dos conceitos científicos quer no desenvolvimento dos processos investigativos com níveis de complexidade e abrangência crescentes.

- *Melhoria dos currículos*. Esta melhoria deve passar por uma valorização das capacidades cognitivas de nível elevado e por uma maior orientação conceptual, relacionada com um tratamento mais aprofundado dos conhecimentos, e uma maior inter-relação entre esses conhecimentos.

- *Investimento na formação de professores.* Implementar práticas pedagógicas de elevados níveis de exigência conceptual exige professores pedagógica e cientificamente bem preparados e que, ideologicamente, defendam a exigência conceptual como um caminho para a melhoria da literacia científica dos alunos.

Para terminar, apresentam-se as seguintes ideias chave:

Aquilo que sabemos determina aquilo que somos não apenas numa dimensão individual, mas também, e sobretudo, numa dimensão social, pois há uma ligação crucial entre o conhecimento e a identidade social (Young, 2010).

Por outro lado, se a escola tem a responsabilidade social de formar e educar *todos* os alunos, então deve permitir que *todos* tenham acesso a currículos de nível elevado, para que o sucesso e uma elevada literacia científica sejam, também, igualmente acessíveis.

Os dados da investigação, concretos e detalhados, permitem saber onde se está e permitem fundamentar e orientar o caminho para onde e como se quer ir. É, no entanto, necessário saber se efetivamente os formadores e,

particularmente, os decisores do discurso pedagógico oficial querem, de facto, uma mudança nos currículos e, consequentemente, na formação científica dos nossos alunos.

Referências

Afonso, M., Alveirinho, D., Tomás, H., Calado, S., Ferreira, S., Silva, P., & Alves, V. (2013). *Que ciência se aprende na escola? Uma avaliação do grau de exigência no ensino básico em Portugal.* Lisboa: Fundação Francisco Manuel dos Santos.

Alves, V., & Morais, A. M. (2012). A sociological analysis of science curriculum and pedagogic practices. *Pedagogies: An International Journal*, *7*(1), 52-71.

Anderson, L. W., Krathwohl, D. (Eds.), Airasian, P., Cruikshank, K., Mayer, R., Pintrich, P., Raths, J., & Wittrock, M. (2001). *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives.* Nova Iorque: Longman.

Bernstein, B. (1990). *Class, codes and control: Vol. IV, The structuring of pedagogic discourse.* Londres: Routledge.

Bernstein, B. (1996). *Class, codes and control: Vol. V, Pedagogy, symbolic control and identity: Theory, research, critique.* Londres: Taylor & Francis.

Bernstein, B. (1999). Vertical and horizontal discourse: An essay. *British Journal of Sociology of Education, 20* (2), 157-173.

Bernstein, B. (2000). *Pedagogy, symbolic control and identity: Theory, research, critique* (Revised edition). Nova Iorque: Rowman & Littlefield.

Bloom, B. (Ed.), Engelhart, M., Furst, E., Hill, W., & Krathwohl, D. (1972). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook 1: Cognitive domain.* Nova Iorque: David McKay.

Brandwein, P., Cooper, E., Blackwood, P., Cottom-Winslow, M., Boeschen, J., Giddings, M., Romero, F., & Carin, A. (1980). *Concepts in science – Teacher's edition*. Nova Iorque: Harcourt Brace Jovanovich.

Brandwein, P.; Watson, F.; Blackwood, P. (1958).*Teaching high school science: A book of methods*. Nova Iorque: Harcourt Brace Jovanovich.

Bruner, J. (1963). *The process of education.* Nova Iorque: Vintage Books.

Bybee, R. (2003). The teaching of science: Content, coherence, and congruence. *Journal of Science Education and Technology, 12*(4), 343-357.

Bybee, R., & Scotter, P. (2007). Reinventing the science curriculum. *Educational Leadership, 64*(4), 43-47.

Calado, S., & Neves, I. (2012). Currículo e manuais escolares em contexto de flexibilidade curricular – Estudo de processos de recontextualização. *Revista Portuguesa de Educação, 25*(1), 53-93.

Calado, S., Neves, I. P., & Morais, A. M. (2014). A exigência conceptual em currículos de ciências: Estudo do currículo de Ciências Naturais do 3.º ciclo do ensino básico. In A. M. Morais, I. P. Neves & S. Ferreira (Eds.), *Currículos, manuais escolares e práticas pedagógicas: Estudo de processos de estabilidade e de mudança no sistema educativo* (pp. 107-130). Lisboa: Edições Sílabo.

Campbell, N., & Reece, J. (2008). *Biology* (8.ª ed.). San Francisco: Pearson/ Benjamin Cummings.

Cantu, L. L., & Herron, J. D. (1978). Concrete and formal Piagetian stages and science concept attainment.*Journal of Research in Science Teaching*, *15*(2), 135-143.

Chalmers, A. F. (1999). *What is this thing called science?* (3.ª ed.). Indianapolis: Hackett Publishing Company.

DEB (Departamento de Educação Básica). (2001). *Currículo nacional do ensino básico: Competências essenciais*. Lisboa: Ministério da Educação.

DEB (Departamento de Educação Básica). (2002). *Orientações curriculares para o 3.º ciclo do ensino básico*. Lisboa: Ministério da Educação.

Domingos, A.M. (atualmente Morais). (1989). Conceptual demand of science courses and social class. In P. Adey (Ed.), *Adolescent development and school science* (pp. 211-223). Londres: Falmer Press.

Domingos, A.M. (atualmente Morais), Barradas,, H., Rainha, H., & Neves, I. P. (1986). *A teoria de Bernstein em sociologia da educação*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Duschl, R., Schweingruber, H., & Shouse, A. (Ed.) (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grade K-8*. Washington: National Academies Press.

Ferreira, S., & Morais, A. M. (2013). The nature of science in science curricula: Methods and concepts of analysis. *International Journal of Science Education, 35*(16), 2670-2691.

Ferreira, S., & Morais, A. M. (2014). A exigência conceptual em currículos de ciências: Estudo do trabalho prático em Biologia e Geologia do ensino secundário. In A. M. Morais, I. P. Neves & S. Ferreira (Eds.), *Currículos, manuais escolares e práticas pedagógicas: Estudo de processos de estabilidade e de mudança no sistema educativo* (pp. 131-157). Lisboa: Edições Sílabo.

Geake, J. (2009). *The brain at school: Educational neuroscience in the classroom*. Berkshire, UK: Open University Press.

Hofstein, A., & Kind, P. (2012). Learning in and from science laboratories. In B. Fraser, K. Tobin & C. McRobbie (Eds.), *Second international handbook of science education* (pp. 189- 207). Londres: Springer.

Hofstein, A., & Naaman, R. (2007). The laboratory in science education: The state of the art. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 105-107.

Holton, G., & Roller, D. (1958). *Foundations of modern physical science*. Cambridge, MA: Addison-Wesley Publishing.

Kuhn, T. (1962). *The structures of scientific revolutions*. Chicago: Chicago University Press.

Lunetta, V., Hofstein, A. & Clough, M. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory, and practice. In N. Lederman & S. Abel (Eds,), *Handbook of research on science education* (pp. 393-441). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Marzano, R. J., & Kendall, J. S. (2007).*The new taxonomy of educational objectives* (2ª ed.). Thousand Oaks, CA: Corwin Press.

MEC (Ministério da Educação e Ciência). (2013). *Metas Curriculares – Ensino Básico – Ciências Naturais – 5.º, 6.º, 7.º e 8.º anos*. Lisboa: Autor.

MEC (Ministério da Educação e Ciência). (2014). *Metas Curriculares – Ensino Básico – Ciências Naturais – 9.º ano*. Lisboa: Autor.

Millar, R., Tiberghien, A., & Maréchal, J. F. (2002). Varieties of labwork: A way of profiling labwork tasks. In D. Psillos& H. Niedderer (Eds.), *Teaching and learning in the science laboratory* (pp. 9-20). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Morais, A. M., & Neves, I. P. (2001). Pedagogic social contexts: Studies for a sociology of learning. In A. Morais, I. Neves, B. Davies & H. Daniels (Eds.), *Towards a sociology of pedagogy: The contribution of Basil Bernstein to research* (pp. 185-221). Nova Iorque: Peter Lang.

Morais, A. M., & Neves, I. (2009). Textos e contextos educativos que promovem aprendizagem. Optimização de um modelo de prática pedagógica. *Revista Portuguesa de Educação, 22*(1), 5-28.

Morais, A. M., & Neves, I. P. (2012). Estruturas de conhecimento e exigência conceptual na educação em ciências. *Revista Educação, Sociedade & Culturas*, *37*, 63-88.

OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico) (1999). *Measuring student knowledge and skills: A new framework for assessment*. Paris: OCDE.

Pella, M., &Voelker, A. (1968). Teaching the concepts of physical and chemical change to elementary school children. *Journal of Research in Science Teaching*, *5*(4), 311-323.

Pires, P. (2001). *Práticas pedagógicas inovadoras em educação científica - Estudo no 1.º ciclo do ensino básico.* Tese de Doutoramento em Educação (Didática das Ciências), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Pires, D., Morais, A., & Neves, I. (2004). Desenvolvimento científico nos primeiros anos de escolaridade. Estudo de características sociológicas específicas da prática pedagógica. *Revista de Educação, XII*(2), 119-132.

Popper, K. (1959). *The logic of scientific discovery.* Londres: Hutchinson.

Silva, P., Morais, A. M., & Neves, I. P. (2014a). O que se ensina e como se ensina em currículos de ciências: Estudo do currículo de ciências do 1.º ciclo do ensino básico. In A. M. Morais, I. P. Neves & S. Ferreira (Eds.), *Currículos, manuais escolares e práticas pedagógicas: Estudo de processos de estabilidade e de mudança no sistema educativo* (pp. 49-78). Lisboa: Edições Sílabo.

Silva, P., Morais, A. M., & Neves, I. P. (2014b). Materiais curriculares, práticas e aprendizagens: Estudo do contexto das ciências do 1.º ciclo do ensino básico. In A. M. Morais, I. P. Neves & S. Ferreira (Eds.), *Currículos, manuais escolares e práticas pedagógicas: Estudo de processos de estabilidade e de mudança no sistema educativo* (pp. 183-212). Lisboa: Edições Sílabo.

Vygotsky, L. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes.* Ed. M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner & E. Souberman. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Young, M. (2009). Education, globalization and the 'voice of knowledge'. *Journal of Education and Work, 22*(3), 193-204.

Young, M. (2010). *Conhecimento e currículo – Do socioconstrutivismo ao realismo social na sociologia da educação*. Porto: Porto Editora.

PARTE II

O TRABALHO PRÁTICO NA APRENDIZAGEM CIENTÍFICA

DEVELOPING STUDENTS' UNDERSTANDING OF SCIENCE: THE ROLE OF PRACTICAL WORK

Robin Millar[1]

Practical work is a prominent and distinctive feature of science education. By 'practical work', I mean teaching and learning activities in which the students, working individually or in small groups, handle or observe the objects, materials or phenomena they are studying. The reason for the prominence of practical work in science education is obvious. The aim of science education is to expand students' knowledge of the natural world, and help them develop an understanding of the ideas and models that scientists use to explain its behaviour. This naturally involves 'showing' learners certain things, or putting them into situations where they can see things for themselves. Simply 'telling' them is unlikely to be successful.

In countries with a long tradition of laboratory-based science teaching at school level, practical work is seen by many teachers as an essential aspect of their everyday practice. One secondary school teacher in England interviewed by Donnelly (1995), for example, replied to a question about the role of practical work:

> It's what science is all about really … getting on with some experiments. Science is a practical subject …. you know, end of story, I think. (p. 97)

Practical work is also considered important by groups who engage with science education policy. For example, the UK House of Commons Science and Technology Committee (2002) wrote that:

> In our view, practical work, including fieldwork, is a vital part of science education. It helps students to develop their understanding of science, appreciate that science is based on evidence and acquire hands-on skills that are essential if students are to progress in science. Students should be given the opportunity to do exciting and varied experimental and investigative work. (para. 40)

[1] University of York (see biographical notes).

Similarly, a report in 2008 by the Science Community Representing Education (SCORE), a partnership of seven organizations in the UK including the Royal Society, the Institute of Physics, the Royal Society of Chemistry and the Society of Biology, argues that:

> The importance of practical work in science is widely accepted and it is acknowledged that good quality practical work promotes the engagement and interest of students as well as developing a range of skills, science knowledge and conceptual understanding. (SCORE, 2008, p. 1)

Some science educators, however, have raised questions about the effectiveness of practical work in science lessons. For example, Hodson (1991) argues that:

> despite its often massive share of curriculum time, laboratory work often provides little of real educational value. As practiced in many countries, it is ill-conceived, confused and unproductive. For many children, what goes on in the laboratory contributes little to their learning of science or to their learning *about* science and its methods. (p. 176)

Osborne (1998) similarly argues that practical work "only has a strictly limited role to play in learning science and that much of it is of little educational value" (p. 156). The claim that practical work strongly influences students' motivation to study science in the longer term has also been challenged (Abrahams, 2009).

So which of these views of practical work in school science is correct? Perhaps a key phrase in Hodson's comment is '*as practised*'. Practical work is essential in science teaching and learning, given the subject matter. But do we use practical work effectively? And if not, what might we do about it?

How effective is practical work?

If we want to think about the effectiveness of practical work as a teaching and learning strategy, we need to begin by recognising that 'practical work' is a very broad category. The question posed in the heading above is too general. Instead, it makes more sense to ask about the effectiveness of specific practical activities. Practical activities used in science lessons

have a range of intended learning outcomes. Most of them fall into one of the three categories (or types) identified in Table 1.

Table 1.
Three types of practical science activity.

Type	Focus	Aim
A	Scientific knowledge	to help students develop their knowledge of the natural world and their understanding of some of the main ideas, theories and models that science uses to explain it
B	Practical skills	to help students learn how to use a piece of scientific apparatus or to follow a standard practical procedure
C	Scientific enquiry	to develop students' understanding of the scientific approach to enquiry and their competence in using it in practice

The starting point for any consideration of the effectiveness of a practical activity is to identify its intended learning outcomes. To explore the idea of 'effectiveness' further, it is then useful to consider the steps involved in developing, implementing and evaluating a practical activity. The model shown in Figure 1 was originally developed to support the work of the European *Labwork in Science Education* project (Millar, Tiberghien & Le Maréchal, 2002).

The starting point is the learning objectives that the teacher (or whoever developed the activity) had in mind. These will, of course, be influenced by a number of things: the context in which the activity will be used (what the curriculum being followed requires, what resources are available, how the students will be assessed, etc.); their views of science (what they think it is important to teach); and their views of learning (what they think is appropriate for learners of the age and stage for which the activity is intended). The learning objectives are a statement of what the students are intended to learn from the activity (Figure 1). In practice they may be stated explicitly, but are often somewhat implicit.

These intentions are then translated into an activity or task: a statement of what the students are to *do* in order to achieve this learning (the *Task*

specification). This might be specified in great detail or in more general terms. The design of the activity is influenced by the same considerations as the learning objectives.

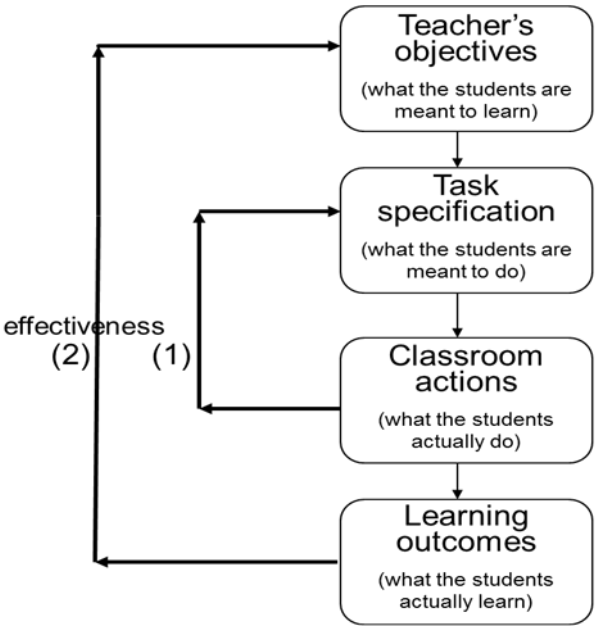


Figure 1. A framework for considering the effectiveness of a teaching activity.

When the activity is then implemented in practice, we can observe the classroom events that occur – we can see what the students actually do during the activity (*Classroom actions*). This again will be influenced by several factors: the students' understanding of science (what they know about the topic in which the activity is set; how competent they are in using the equipment involved, etc.); the context of the activity (what their curriculum requires, how they will be assessed, etc.); and their views of learning (for example, whether they really think that learning is about constructing meaning from experience, or see it as a matter of being 'given' ideas and insights by a teacher). As a result, the actions of the students may be close to what the designer of the activity had in mind, or

may differ from it to a greater or lesser extent. It may become very clear when we observe an activity in use that its design needs to be improved in order for the students to do what we intended and see what we meant them to see. This is the first, and most basic, sense of effectiveness: the match between what we intended students to do and see and what they actually do and see. This is about the relationship between the second and third box in Figure 1. We might call this 'effectiveness 1'.

Often, however, when people talk about the effectiveness of a teaching activity they mean the extent to which it helped students to learn what we wanted them to learn. This is about the relationship between the first and fourth box in Figure 1. We might call this 'effectiveness 2'. It is not, of course, easy to assess or measure. We would first need to decide if we were interested in evidence of learning in the short term or in the medium and long term. And we should recognise that learning, when it does occur, is likely to be the result of a sequence of lesson activities of which a practical activity is just a part.

Practical work to make links between two domains of knowledge

For those practical activities which aim to help students develop their knowledge and understanding of the natural world (*Type A: Scientific knowledge*), there is another important distinction to be made regarding their effectiveness. This stems from a point made by several science educators (for example, Tiberghien, 2000), that the fundamental purpose of much practical work in science is to help students to make connections, or links, between two domains: the domain of objects and observables (things or properties that we can see directly) and the domain of ideas (often involving unobservable entities and behaviours) (Figure 2).

Practical activities can differ considerably in the extent to which both domains are involved and important. For some activities, the aim is simply that students should observe an object, a material or an event, and remember some things about it. For other activities, the aim is to help students understand some of the ideas that science uses to describe or to

explain what they observe – and these only really make sense as activities if you look at them from the perspective (or 'through the spectacles') of a particular set of ideas. For such activities, thinking is as important as doing. They can only work if students are both 'hands on' and 'minds on'. To assess the effectiveness of such activities, we really have to take account of both domains of Figure 2. In the language of the model in Figure 1, we need to look at what students 'do' with ideas, as well as what they do with objects and materials on the laboratory bench (in the *Classroom actions* box); and we need to look at how well the activity supports their learning of ideas and not merely their recollection of observable events (in the *Learning outcomes* box). The implications of this are set out more explicitly in Table 2, which identifies the evidence that would indicate that a practical activity was effective in each of the senses outlined above, in each of the two domains.

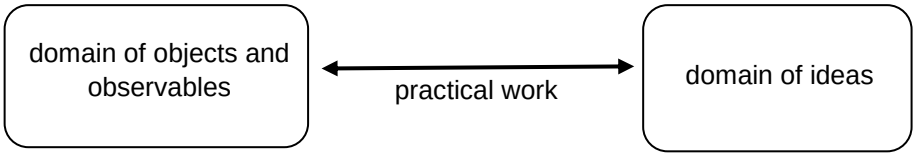


*Figure 2.*The fundamental purpose of practical work: to link two domains of knowledge (from Tiberghien, 2000).

Table 2.
Indicators of effectiveness at each level and in each domain.

A practical activity is …	**in the domain of objects and observables**	**in the domain of ideas**
effective at level (1)	if students do the things they were meant to do with objects and materials, and see the things they were meant to see	if students think and talk about what they are doing and what they see, using the science ideas they were meant to use
effective at level (2)	if students can later recall what they did with objects and materials, and what they saw	if students later show understanding of the science ideas the activity is meant to help them learn

The effectiveness of practical work in teaching and learning science: Evidence from research

Much research has been carried out on the learning outcomes of practical work of the three types identified above. Some of the key findings are summarised in the section that follows. A fuller discussion can be found in the reviews of research by Lunetta, Hofstein and Clough (2007) and Millar (2010a).

Practical work of Type A: Scientific knowledge

For practical activities of this type, the question we are asking is: Do students gain a better understanding of science ideas, concepts and explanations if they have more opportunities to do practical work?

Many studies, mainly from the United States, have explored whether science courses with a practical emphasis lead to better student learning than more textbook-oriented alternatives. The outcomes of these studies do not, however, lead to clear evidence of the effectiveness of more practical, or inquiry-based, programmes. Bredderman (1983), for example, on the basis of a meta-analysis of 57 studies, which considered nine different outcome measures including students' scientific knowledge, concluded that:

> The overall effects of the activity-based programs on all outcome areas combined were clearly positive, although not dramatically so. Thirty-two percent of all 400 comparisons favoured the activity-based program and were reported as statistically significant at the 5% level or above. Only six percent favoured the non-activity-based program group. (p. 504)

The smallest mean effect size was for measures of science knowledge (0.16) and few of the studies used random assignment to treatment and control groups, hence significantly weakening any evidence of positive effects. A major recent synthesis of studies of the impact of inquiry-based programmes (Minner, Levy & Century, 2010) also concluded that there was no clear evidence that programmes based on practical inquiry lead to better understanding of science ideas and concepts.

Studies of the effect of whole programmes are inevitably rather 'broad brush'. A science programme is a complex intervention, with many facets, and some parts of it may be more effective than others. We might learn more about the effectiveness of practical work for teaching scientific knowledge from studies of the teaching of a specific science topic. Watson, Prieto and Dillon (1995) carried out one such study, using naturally occurring differences in the exposure of 14-15 year old students in England and Spain to practical work in the teaching and learning of combustion. The topic is taught in both countries with quite similar learning objectives. In England, it is usually taught with high practical content, whereas in Spain the amount of practical work is low. A sample of 150 students attending mixed-ability co-educational comprehensive schools in each country completed a written diagnostic test of their understanding, developed for this study. Testing did not immediately follow teaching, but took place at a time when both samples would have studied some elementary chemistry including combustion. The researchers also interviewed the students' teachers to get fuller information on how combustion had been taught. There were marked differences between the samples in their responses, for example, in the terms they used and the examples they gave. And there was, as might be expected, considerable variation in student understanding within each sample. The researchers concluded that English students' greater exposure to practical work "had only a marginal effect on their understanding of combustion" (p. 487).

There are rather few studies comparing the outcomes of teaching a science topic with and without practical work. On the other hand, there are many comparing the outcomes of teaching a topic using small-group practical work and teacher demonstration. Garrett and Roberts (1982) discuss and review studies carried up to the early 1980s. Referring to 'small groups' and 'demonstrations' as different 'tactics', they reach the conclusion that these research studies "have provided no clear cut indication of the superiority of one tactic over the other and the overall evidence would seem to suggest that there [is] no difference between them at least in any generalisable way" (p. 139).

Later studies have reached similar conclusions. Thijs and Bosch (1995), for example, compared teacher demonstrations and student practical work for developing students' understanding of forces on objects at rest. The subjects were 160 students (age 15) in six classes of above average ability, taught by five teachers in two schools in the Netherlands. Three classes were taught using teacher demonstrations, and three undertook the same tasks as small-group practicals. The teaching sequence in all classes was based on the 'anchor-bridges method' proposed by Clement, Brown and Zietsman (1989), thus ensuring that there was similarity in the content and sequence of instruction in both experimental and control groups. Learning outcomes were measured by written probes of concept understanding, analysis of students' written class work, and observers' notes during lessons. Thijs and Bosch reached the conclusion that "overall cognitive effects of small-group practicals and teacher demonstrations do not differ" (p. 320).

A recent study of the effectiveness of practical work, by Abrahams and Millar (2008), was based on detailed observation of 25 'typical' science practical lessons in a sample of schools in England, augmented by data from interviews with teachers before and after the lessons, and with students during and after the lessons. The researchers concluded that: "Practical work was generally effective in getting students to do what is intended with physical objects, but much less effective in getting them to use the intended scientific ideas to guide their actions and reflect upon the data they collect" (p. 1945). In other words, Type A practical work is often reasonably effective in the domain of objects and observables, but not very effective in the domain of ideas.

Why is practical work so ineffective in the domain of ideas? The reasons lie in what Rosalind Driver (1983) called 'the fallacy of induction in science teaching'. Even when students do what the teacher meant them to do, and see what they were meant to see, they often fail to draw the conclusion we want them to. Theoretical ideas and explanations do not simply 'emerge' from careful observation. They may seem obvious to the teacher, who already understand them, but not to a learner who does not. Driver (1995) argues that, "If students' understandings are to be changed

towards those of accepted science, then intervention and negotiation with an authority, usually a teacher, is essential" (p. 399). Practical work can facilitate and enhance this communication – but cannot do the whole job on its own.

Before leaving this topic, and as a counterpoint to the rather negative findings of much research, it is worth noting some encouraging findings from recent studies on the use of interactive computer-based simulations in which students experiment with virtual manipulatives (VMs) rather than physical manipulatives (PMs). Several recent studies have concluded that the use of such simulations, before or alongside practical work with real objects and materials, leads to better student learning.

In a study of learning of electric circuit theory, Zacharia (2007) used a sample of undergraduate students following a pre-service course for elementary school teachers in Cyprus. Students were assigned randomly to an experimental group (n=45) or a control group (n=43). The control group used real experimentation throughout, whilst the experimental group used virtual experimentation for part of their programme. The experimental group achieved higher gains on conceptual tests taken before, during, and after the intervention. A similarly designed study of 68 students from the same pre-service teaching programme explored learning of heat and temperature (Zacharia & Constantinou, 2008). The experimental group used virtual manipulatives and the control group physical manipulatives. Unlike previous studies, the curriculum and the instructional approach were explicitly controlled. The groups made similar conceptual gains on written tests. In a subsequent investigation, involving 62 students of similar background (Zacharia, Olympiou & Papaevripidou, 2008), the experimental group used PM followed by VM, and the control group PM only. Here the experimental group made larger conceptual gains than the control group. In another similarly designed study of 66 10-11-year-old students in Finland, Jaakkola and Nurmi (2008) found that a combination of simulation and laboratory experimentation on electric circuits led to better learning outcomes than either approach used on its own.

This is a relatively new area for research, but there is growing evidence that the use of activities involving virtual manipulatives in conjunction with activities involving physical manipulatives can lead to measurable learning gains.

Practical work of Type B: Practical skills

Here the question we are asking is: Does direct practical experience help students to develop their skills in handling apparatus and carrying out practical procedures?

The answer from research is positive. There is consistent evidence from research studies that students are better at using practical science equipment and carrying out standard procedures if they have been taught by practical methods that have given them opportunities to do these things for themselves. It comes from studies like that of Yager, Engen and Snider (1969) and those included in the meta-analyses by Bredderman (1983) and by Shymansky, Kyle and Alport (1983). It is scarcely a surprising finding. Indeed we would be surprised were it not the case. Some of the findings of the Assessment of Performance Unit (APU) in England in the 1980s (Black, 1990), however, suggest that the students' competence in using some very common measuring instruments is lower than we might expect, given the prominence of practical work in English schools. For several of the instruments tested, less than half of a large sample of 15-year-olds could take a reading to the expected precision and accuracy. The major problems were associated with interpolation between marked values on a scale, and were greatest when this involved decimals (Gamble, Davey, Gott & Welford, 1985, pp. 18-19).

Practical work of Type C: Scientific enquiry

As regards the effectiveness of Type C practical activities, two key questions we might ask are:

- Do students become better at designing and carrying out a scientific investigation through practice in doing investigative practical work?

- Do students gain a better understanding of the nature of science through the experience of doing practical work?

Research does not provide a very clear answer to the first of these. Several studies have shown that student performance is very variable from one investigation to another, even where these appear similar in underlying structure (e.g., Donnelly, 1987; Strang, Daniels & Bell, 1991). Researchers have also reported that the ability to design and carry out a simple investigation improves rather slowly with age; Zimmerman (2007) makes the telling observation that the performance of young children is often more sophisticated than we expect, whilst that of older students and adults is often less sophisticated than we would expect.

Several researchers have argued that direct instruction on *specific* points about investigation design (e.g., the control-of-variables strategy) can lead to significantly better learning than simply providing opportunities to do investigations. Chen and Klahr (1999), for example, from a study of 7-10 year olds (n=87) reported that:

> when provided with explicit training within domains, combined with probe questions, children were able to learn and transfer the basic strategy for designing unconfounded experiments. Providing probes without direct instruction, however, did not improve children's ability. (p. 1098)

Another study, of 112 US grade 3 and 4 students (age 9-10), corroborated this finding (Klahr & Nigam, 2004). Children taught the control of variables strategy (CVS) made greater pre-test to post-test improvement than those who were simply exposed to a series of tasks that required the use of the CVS. The need for short direct teaching interventions to teach the CVS is, however, still contested by other researchers such as Kuhn and Dean (2005), who argue that there is evidence of learning when young children simply "engage in repeated encounters with situations that require these skills" (p. 866). As control of variables is the aspect of scientific enquiry on which the largest body of research exists, it is salutary to note that this research effort has not yet produced consensus. This is an indication, if one is needed, of just how difficult it is to produce clear and compelling evidence of the effectiveness of educational interventions.

As regards the question of whether practical work develops students' understanding of the nature of science, there is little direct research evidence. One reason is that it is difficult to measure these learning outcomes in a valid and reliable manner. A few studies have, however, been published looking at the effects of interventions specifically designed to develop understanding of the nature of science. One is by Carey, Evans, Honda, Jay and Unger (1989). This evaluated a teaching unit in which 12-year-old students tried to discriminate between two explanations for the role of yeast in making dough rise: that yeast is alive and breathes out a gas, and that there is a chemical reaction between yeast and other ingredients in which a gas is evolved. Twenty-seven students were interviewed before and after participating in the unit to probe their understanding of the nature and purpose of scientific enquiry. The researchers concluded that children of this age have epistemological views that are different from those of scientifically literate adults, with many holding what they term "a 'copy theory' of knowledge: knowledge is a faithful copy of the world that is imparted to the knower when the knower encounters the world" (p. 526). From this viewpoint, scientists can only be wrong "through ignorance, that is, by not having looked at that aspect of nature" (ibid.). For these children "knowledge directly reflects reality, so the problem of examining the fit between the two does not arise" (ibid.). Post-intervention interviews suggested that many students were able to move beyond this kind of understanding, and to see experiments as tests of ideas. The study did not explore whether this understanding was durable, or transferrable to other contexts.

We should, however, recognize that there is a tension between the aspiration that students' will gain a better understanding of the nature of science through practical work, and that it will also help them gain a better understanding of science ideas, concepts and explanations, i.e. between the aims of Type A and Type C practical activities. Practical work in school science is rarely, if ever, an opportunity for students to discover new knowledge for themselves. Instead, it is better thought of as a communication strategy, supporting the aim of helping learners come to

their own understanding of knowledge and ideas that are already well known to others. As Newman (1982) puts it:

> The young child is often thought of as a little scientist exploring the world and discovering the principles of its operation. We often forget that while the scientist is working on the border of human knowledge and is finding out things that nobody yet knows, the child is finding out precisely what everybody already knows. (p. 26)

Layton (1973), reflecting on the tension between teaching established core content and developing understanding of the nature of science, puts the issue bluntly:

> at the school level, … the acquisition of scientific knowledge is inescapably tinged with dogmatism. … it is difficult to see how both objectives, an understanding of the mature concepts and theories of science and an understanding of the processes by which scientific knowledge grows, can be achieved simultaneously. … The problem of reconciling these objectives in school science teaching has been considerably underestimated. (pp. 176-7)

Improving effectiveness

The previous section identifies key points that emerge from the body of research on the learning outcomes of practical work in school science. To conclude this chapter, I want to consider how the effectiveness of practical work might be improved. Research can only tell us about the effectiveness of practical work as it is currently used. So what might we do to make practical activities more effective?

This was the question addressed by the project *Getting Practical: Improving Practical Work in Schools (IPWiS)* project, led by the UK Association for Science Education. The project developed and implemented a Continuing Professional Development (CPD) intervention designed to improve teachers' practices in the use of practical work (Abrahams, Reiss & Sharpe, 2014). The project's strategy was based on a framework designed to help teachers to reflect systematically on practical activities they currently use, or plan to use, and consider how these might be made more effective (Millar, 2010b). The CPD intervention reinforced the view that there is no 'magic bullet': we have to think about individual practical tasks, and ask how each might be made more effective. It

suggested that a practical activity is more likely to be effective if it has clear and limited learning objectives, and that the effectiveness of a practical activity will depend on how it is designed, how it is presented or 'staged' in class, and how it is integrated into an instructional unit. A central message was that effective activities are 'minds-on' as well as 'hands-on'; students need to be thinking about what they are doing, and why they are doing it, not just following instructions or routines. In designing and staging a practical task, teachers were encouraged to consider how to help students build bridges between the domain of observables and the domain of ideas.

One recommended way of improving the effectiveness of many practical activities was to translate them into the Predict-Observe-Explain (POE) format (Gunstone, 1991). A POE task asks the student first to predict what will happen in a given situation (and perhaps also to give their reasons), and only then to do it. If what they observe differs from what they predicted, they are then asked to explain their observations (White & Gunstone, 1992).

A way of improving the effectiveness of many Type C practical activities is to restrict the number of measurements a student is permitted to make, when exploring the effect of an independent variable on a dependent variable. Allowing students initially to make only three measurements forces them to think about which measurements will yield most information, before actually measuring anything.

As regards the staging of activities, the *IPWiS* project emphasised that the talk and discussion which precede and follow practical observations and measurements are critical to its effectiveness. An effective practical activity is one that grows naturally out of the topic and the ideas the students are studying. Hart, Mulhall, Berry, Loughran, and Gunstone (2000) make an important distinction between the 'purpose' of a practical activity from the perspective of the learner, and its 'aim' in the teacher's eyes. They argue that students frequently do not really know what, in learning terms, they are doing the practical activity for. An activity is more likely to be effective if students can see its *purpose* – and know what

they are doing it *for*, what question it might help them to answer, and how might it advance their understanding. The 'purpose' of a task is not the same as its 'objective'.

Finally, to be effective, practical activities need to be embedded in a carefully planned sequence of learning activities which emphasises links between observations and ideas and allows students some control in making these links (Gunstone, 1991). The same point is made in the US National Academies Panel report *America's Lab Report: Investigations in High School Science* (National Research Council, 2006). After reviewing a wide range of evidence and views on practical work, the panel concludes that, rather than thinking about individual practical activities in isolation, it may be more productive to think about "instructional sequences that include laboratory experiences along with lectures, reading and discussion" (p. 195). Whilst accepting that research on such sequences (or units) is still quite limited, they suggest that there is evidence that they are more effective than 'traditional' (isolated) practical experiences.

Conclusion

The four principles of instructional design identified by the National Academies Panel (National Research Council, 2006) provide a useful summary of the main points made in this chapter. They suggest that practical activities in science lessons are more likely to achieve their intended learning goals if:

(1) they are designed with clear learning outcomes in mind,
(2) they are thoughtfully sequenced into the flow of classroom science instruction,
(3) they are designed to integrate learning of science content with learning about the processes of science, and
(4) they incorporate ongoing student reflection and discussion. (p. 197)

In previously published research studies on the learning outcomes of topics taught with and without practical work, little information is provided on the nature of the practical activities or on how they were supported by other lesson activities before and after. Practical activities should be seen, and evaluated, within a teaching sequence that includes activities of diverse kinds, designed as a whole to promote learning of

certain ideas or skills. More studies are needed of the role of practical work within carefully planned teaching sequences of this sort, on topics where we believe that practical work makes a significant contribution to understanding.

References

Abrahams, I. (2009). Does practical work really motivate? A study of the affective value of practical work in secondary school science. *International Journal of Science Education*, *31*(17), 2335-2354.

Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, *30*(14), 1945-1969.

Abrahams, I., Reiss, M.J., & Sharpe, R. (2014). The impact of the 'Getting Practical: Improving Practical Work in Science' continuing professional development programme on teachers' ideas and practice in science practical work. *Research in Science & Technological Education*, *32*(3), 263-280.

Black, P. (1990). APU Science – the past and the future. *School Science Review*, *72*(258), 13-28.

Bredderman, T. (1983). Effects of activity-based elementary science on student outcomes: A quantitative synthesis. *Review of Educational Research*, *53*(4), 499-518.

Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E., & Unger, C. (1989). 'An experiment is when you try it and see if it works': A study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, *11*, special issue, 514-529.

Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child Development*, *70*(5), 1098-1120.

Clement, J., Brown, D.E., & 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.

Donnelly, J. (1987). Fifteen-year-old pupils' variable handling performance in the context of scientific investigations. *Research in Science & Technological Education*, *5*(2), 135-147.

Donnelly, J. (1995). Curriculum development in science: The lessons of Sc1. *School Science Review*, *76*(277), 95-103.

Driver, R. (1983). *The pupil as scientist?* Chapter 1. The fallacy of induction in science teaching (pp. 1-10). Milton Keynes: Open University Press.

Driver, R. (1995). Constructivist approaches to science teaching. In L. Steffe & J. Gale (Eds.), *Constructivism in education* (pp. 385-400). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Gamble, R., Davey, A., Gott, R., & Welford, G. (1985). *Science at Age 15. A report on the findings of the age 15 APU science surveys.* Assessment of Performance Unit. Science report for teachers: 5. London: DES/WO/DENI.

Garrett, R.M., & Roberts, I.F. (1982). Demonstration versus small group practical work in science education. A critical review of studies since 1900. *Studies in Science Education*, 9, 109-146.

Gunstone, R. (1991). Reconstructing theory from practical experience. In B.E. Woolnough (Ed.), *Practical science* (pp. 67-77). Milton Keynes: Open University Press.

Hart, C., Mulhall, P., Berry, A. Loughran, J., & Gunstone, R. (2000). What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiments? *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 655-675.

Hodson, D. (1991). Practical work in science: Time for a reappraisal. *Studies in Science Education*, 19, 175-184.

Jaakkola, T., & Nurmi, S. (2008). Fostering elementary school students' understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory activities. *Journal of Computer Assisted Learning, 24*(4), 271-283.

Klahr, D. & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction. *Psychological Science*, *15*(10), 661-667.

Kuhn, D., & Dean, D., Jr. (2005). Is developing scientific thinking all about learning to control variables? *Psychological Science*, *16*(11), 866-870.

Layton, D. (1973). *Science for the people.* London: George Allen and Unwin.

Lunetta, V.N., Hofstein, A., & Clough, M.P. (2007). Teaching and learning in the school science laboratory. An analysis of research, theory, and practice. In S.K. Abell & N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 393-431). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Millar, R. (2010a). Practical work. In J. Osborne &J. Dillon J. (Eds.), *Good practice in science teaching: What research has to say*, 2nd edn (pp.108-134). London: McGraw-Hill.

Millar, R. (2010b). *Analysing practical science activities to assess and improve their effectiveness.* Hatfield: Association for Science Education. Text available from: <http://www.york.ac.uk/education/research/research-paper/> (click on Paper 25).

Millar, R., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J.-F. (2002). Varieties of labwork: A way of profiling labwork tasks. In D. Psillos & H. Niedderer (Eds.), *Teaching and Learning in the Science Laboratory* (pp. 9-20). Dordrecht: Kluwer.

Minner, D.D., Levy, A.J., & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction – what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, *47*(4), 474-496.

National Research Council (2006). *America's Lab Report: Investigations in High School Science*. Washington, DC: The National Academics Press.

Newman, D. (1982). Perspective-taking versus content in understanding lies. *Quarterly Newsletter of the Laboratory of Comparative Human Cognition*, 4, 26-9.

Osborne, J. (1998). Science education without a laboratory? In J.J. Wellington (Ed.), *Practical work in school science. Which way now?* (pp. 156-173). London: Routledge.

SCORE (Science Community Representing Education) (2008). *Practical work in science. A report and proposal for a strategic framework.* London: SCORE. Retrieved January 25, 2015 from <http://www.score-education.org>.

Shymansky, J.A., Kyle, W.C., Jr., & Alport, J.M. (1983). The effects of new science curricula on student performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 387-404.

Strang, J., Daniels, S., & Bell, J. (1991). *Assessment matters No. 6. Planning and carrying out investigations.* London: School Examinations and Assessment Council.

Thijs, G.D., & Bosch, G.M. (1995). Cognitive effects of science experiments focusing on students' preconceptions of force: A comparison of demonstrations and small-group practicals. *International Journal of Science Education*, *17*(3), 311-323.

Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, J. Leach, & J. Osborne (Eds.), *Improving science education: The contribution of research* (pp. 27-47). Buckingham: Open University Press.

UK House of Commons Science and Technology Committee (2002). *Science education from 14 to 19*. London: The Stationery Office Ltd. Retrieved January 25, 2015 from <www.publications.parliament.uk/pa/cm200102/cmselect/cmsctech/cmsctech.htm#reports>.

Watson, R., Prieto, T., & Dillon, J. (1995). The effect of practical work on students' understanding of combustion. *Journal of Research in Science Teaching*, *32*(5), 487-502.

White, R., & Gunstone, R. (1992). *Probing understanding.* Chapter 3. Prediction – Observation – Explanation (pp. 44-64). London: Falmer Press.

Yager, R.E., Engen, H.B., & Snider, B.C.F. (1969). Effects of the laboratory and demonstration methods upon the outcomes of instruction in secondary biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 6, 76-86.

Zacharia, Z.C. (2007). Comparing and combining real and virtual experimentation: An effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, *23*(2), 120-132.

Zacharia, Z.C., & Constantinou, C.P. (2008). Comparing the influence of physical and virtual manipulatives in the context of the Physics by Enquiry curriculum: The case of undergraduate students' conceptual understanding of heat and temperature. *American Journal of Physics*, *76*(4&5), 425-430.

Zacharia, Z.C., Olympiou, G., & Papaevripidou, M. (2008). Effects of experimenting with physical and virtual manipulatives on students' conceptual understanding in heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, *45*(9), 1021-1035.

Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27, 172-223.

TRABALHO PRÁTICO EM CURRÍCULOS E PRÁTICAS PEDAGÓGICAS

Sílvia Ferreira[1]
Ana Maria Morais[1]
Isabel Pestana Neves[1]
Margarida Afonso[1]
Preciosa Silva[1]

Conceptualização e modelos de análise

Abordando-se a temática do trabalho prático, e em particular do trabalho prático laboratorial, dá-se continuidade à defesa de currículos de nível elevado no ensino das ciências. Reiteram-se também os argumentos a favor de currículos de nível de exigência elevado e da importância da conceptualização dos conhecimentos e das capacidades como forma de promover uma aprendizagem conducente à igualdade de acesso e de sucesso de *todos* os alunos, agora aplicados ao trabalho prático e ao trabalho laboratorial em particular. Com base nessa conceptualização, apresentam-se ainda alguns modelos de análise.

Conceptualização

O trabalho prático realizado pelos alunos é essencial para o processo de ensino/aprendizagem das ciências e são várias as razões apontadas por diversos autores para o desenvolver. Autores como Woolnough e Allsop (1985), Hodson (1990), Hofstein e Lunetta (2004), Lunetta, Hofstein e Clough (2007), Millar, Maréchal e Tiberghien (1999), Millar (2004, 2010) apontam razões como: motivar e estimular o interesse pelas ciências; desenvolver capacidades práticas e técnicas de laboratório; ter a possibilidade de sentir o fenómeno, ou através dos sentidos ou dos instrumentos; intensificar a aprendizagem de conhecimento científico; desenvolver determinadas atitudes científicas, como a objetividade; desenvolver capacidades de resolução de problemas; desenvolver o pensamento científico; ajudar a estabelecer ligações entre o mundo real

[1] Investigadoras do Grupo ESSA (ver notas biográficas).

dos objetos, dos materiais e dos fenómenos, e o mundo abstrato dos pensamentos e ideias; desenvolver tanto conhecimento científico como conhecimento sobre a ciência; e compreender a natureza da ciência. Contudo, a decisão sobre que trabalho prático implementar, quando e como implementar, deve ser suportada por uma reflexão sobre os objetivos a atingir, tendo sempre presente uma elevada exigência conceptual, para que todos os alunos tenham, como se referiu, igualdade de acesso e de sucesso.

Trabalho prático. O que significa "trabalho prático"? São várias as conceções de trabalho prático defendidas por diversos autores: umas valorizando o papel ativo desempenhado pelos alunos como são, por exemplo, a posição de Hodson (1993) que considera "toda e qualquer atividade em que os alunos desempenhem um papel ativo" (p. 106) e também a de Leite (2001) que refere serem "todas as atividades que exigem que o aluno esteja ativamente envolvido, nos domínios psicomotor, cognitivo ou afetivo" (p. 78).

Outros autores, porém, valorizam essencialmente a interação, mais ou menos direta, dos alunos com os objetos e os fenómenos, recorrendo à mobilização de capacidades ligadas à investigação. Estão neste grupo autores como Lunetta, Hofstein e Clough (2007) que defendem que o trabalho prático é aquele que envolve "experiências de aprendizagem nas quais os alunos interagem com materiais ou com fontes secundárias de dados para observar e compreender o mundo natural" (p. 394) ou como Millar (2010) que identifica como trabalho prático "qualquer atividade de ensino e de aprendizagem em ciências em que os alunos, trabalhando individualmente ou em pequenos grupos, observam e/ou manipulam os objetos ou materiais que estão a estudar" (p. 109). Embora estes autores apresentem aspetos semelhantes nas suas conceções de trabalho prático, elas diferem entre si pois para Lunetta e colaboradores, o aluno tem que efetivamente manipular objetos e, neste sentido, atividades de demonstração realizadas pelo professor, por exemplo, não são consideradas como atividades práticas, enquanto que para Millar não é a manipulação direta dos objetos que determina o caráter prático da atividade.

Tendo em consideração as definições apresentadas e no contexto da investigação desenvolvida por Ferreira e Morais (2014a) do Grupo ESSA, apresenta-se e defende-se um significado de trabalho prático próximo do preconizado por Lunetta e colaboradores (2007) e um pouco mais restrito que a definição apresentada por Hodson (1993) e Leite (2001). Entende-se assim por trabalho prático todas as "atividades de ensino/aprendizagem em ciências em que o aluno esteja ativamente envolvido e que permitam a mobilização de capacidades de processos científicos e de conhecimentos científicos, podendo concretizar-se através de papel e lápis ou de observação e/ou manipulação de materiais" (Ferreira & Morais, 2014a, p. 58). Embora se possam encontrar várias tipologias de trabalho prático (ver, por exemplo, Afonso, 2008), na conceção usada nessa investigação, as atividades práticas podem concretizar-se sob diversas formas, como atividades laboratoriais, trabalhos de pesquisa bibliográfica, simulações, visitas de estudo, atividades de discussão orientada, exercícios de aplicação com utilização ou não de recursos digitais.

Nesta conceção, estar ativamente envolvido e mobilizar capacidades de processos científicos são, efetivamente, dois aspetos centrais e definidores de trabalho prático. Como também se depreende, estes aspetos incorporam uma perspetiva abrangente, pois o envolvimento ativo obriga à utilização de uma diversidade de capacidades, como colocar questões, planificar investigações, observar, comparar e explicar resultados, na consecução e concretização de uma multiplicidade de atividades.

Capacidades de processos científicos. Inerentes ao trabalho prático estão as capacidades de processos científicos (ex., Duschl, Schweingruber & Shouse, 2007), também denominadas de capacidades de inquérito ou de capacidades investigativas por outros autores (ex., Ketelhut et al., 2010), que permitem o desenvolvimento e a aquisição de conhecimentos e de processos científicos.

O currículo inglês *National Science Education Standards* de 1996 esclarece que as capacidades de processos científicos, a desenvolver nas atividades de trabalho prático, podem traduzir-se em: fazer observações; colocar questões; fazer pesquisas em livros e noutras fontes de informação

para se ver o que já se sabe; planificar investigações; rever o que já se sabe com base em evidências experimentais; usar ferramentas para obter, analisar e interpretar dados; propor respostas, explicações e previsões; e comunicar ~~os~~ resultados (NRC, 1996). Já Chiapetta (1997) considera que as capacidades de processos científicos estão relacionadas com "os padrões de pensamento que os cientistas usam para construir o conhecimento, representar ideias e comunicar informação" (p. 24). As capacidades de processos científicos são, assim, formas de pensamento mais diretamente envolvidas na investigação científica.

Reformas mais recentes no ensino das ciências, como o currículo americano *Next Generation Science Standards* de 2012 (NRC, 2012), continuam a salientar a importância dos processos científicos. Neste currículo destaca-se ainda o facto de o conhecimento científico central a cada disciplina dever ser aprendido no contexto das práticas de inquérito. Neste sentido, os autores deste currículo optaram pelo termo processos científicos em vez de capacidades de processos científicos ou capacidades de inquérito para enfatizarem o facto da investigação científica envolver quer capacidades quer conhecimentos. As práticas científicas dizem, assim, respeito "às práticas principais que os cientistas utilizam quando investigam e constroem modelos e teorias sobre o mundo" (NRC, 2012, p. 30), como evidenciado no esquema da Figura 2.1.

Os processos científicos que se podem encontrar neste currículo americano são, por exemplo, os seguintes: colocar questões; desenvolver e usar modelos; planificar e realizar investigações; analisar e interpretar dados; usar pensamento matemático e computacional; construir explicações; argumentar a partir de evidências; e obter, avaliar e comunicar informação (NRC, 2012).

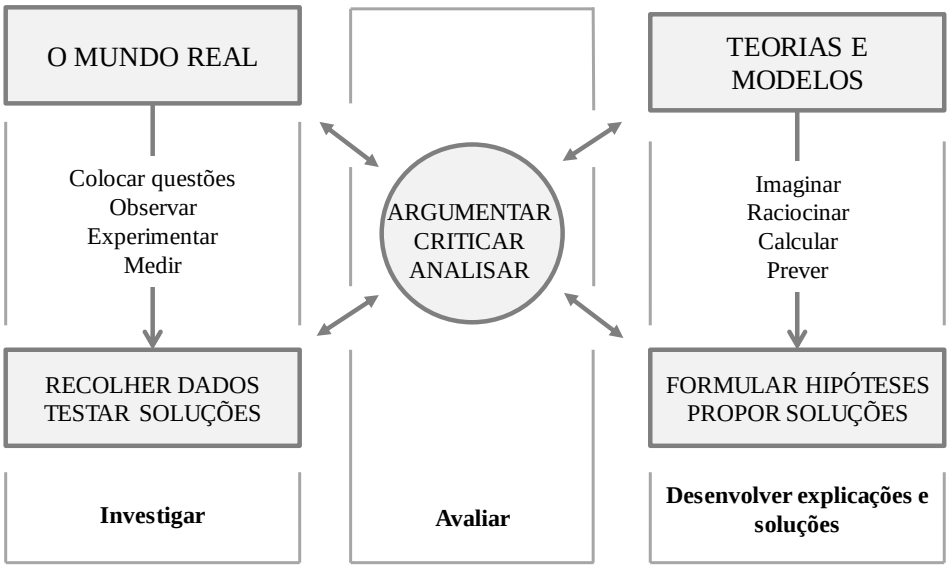


Figura 2.1. Um modelo da atividade científica (adaptado de NRC, 2012).

Porém, as capacidades envolvidas nos processos científicos podem apresentar diferentes níveis de complexidade e, com base na conceptualização de Bruner (1963), devem ser desenvolvidas de forma cada vez mais complexa. Por exemplo, a Taxonomia de Bloom, revista por Anderson e colaboradores (2001), apresentada na secção temática anterior (Parte I), categoriza as capacidades em seis níveis de complexidade, desde a memorização, que envolve a evocação de conhecimento da memória de longo prazo, até à criação, que envolve a associação de elementos para formar um todo coerente ou funcional ou a reorganização de elementos num novo padrão ou estrutura. A Figura 2.2. exemplifica a categorização de algumas das capacidades de processos científicos pelos vários níveis desta taxonomia.

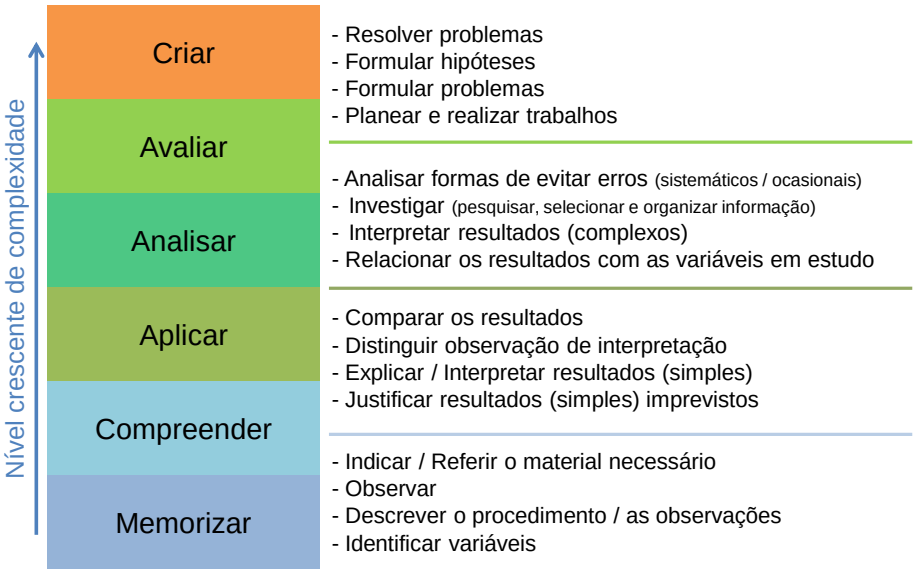


Figura 2.2. Capacidades de processos científicos categorizadas por níveis do processo cognitivo da taxonomia revista de Bloom (adaptado de Anderson et al., 2001).

Embora todas as tipologias de trabalho prático possam desenvolver e mobilizar estas capacidades de processos científicos, considera-se que o trabalho laboratorial desempenha um papel essencial.

Trabalho laboratorial. O trabalho laboratorial, aqui entendido como "todas as atividades de ensino/aprendizagem em ciências em que o aluno esteja ativamente envolvido e que permitam a mobilização de capacidades de processos científicos e de conhecimentos científicos, devendo ser concretizadas através da observação e/ou interação com materiais e equipamento de laboratório (ou outros materiais alternativos)" (Ferreira, 2014, p. 36), é crucial no ensino e na aprendizagem das ciências. À semelhança de Leite (2001) e de Leite e Dourado (2013), considera-se que uma atividade laboratorial implica a utilização de materiais de laboratório, ou materiais alternativos, em que o aluno esteja ativamente envolvido e que, tendo em conta a definição de trabalho prático adotada, mobilize capacidades de processos científicos.

A implementação de trabalho laboratorial é indispensável, tanto pela centralidade como pela especificidade do papel que desempenha no empreendimento científico e no ensino e aprendizagem das ciências. Sem trabalho laboratorial não há ciência, como também não há um verdadeiro ensino e uma real aprendizagem da ciência. O trabalho laboratorial pode ser mais ou menos estruturado, mais orientado pelo professor ou mais orientado pelo aluno, mais fechado (um caminho, uma solução) ou mais aberto (vários caminhos, várias soluções), como referem Wellington e Ireson (2008), mas é essencial que seja realizado.

Tendo em conta as múltiplas dimensões do trabalho laboratorial, os educadores de ciências têm vindo a sugerir uma grande variedade de modos de classificá-lo. Por exemplo, Millar, Tiberghien e Maréchal (2002) desenvolveram um sistema de classificação das atividades laboratoriais em que consideraram os seguintes aspetos: os objetivos de aprendizagem, relativos quer ao conhecimento científico quer aos processos científicos; e os elementos principais da conceção da atividade, nomeadamente a sua estrutura cognitiva (o que se espera que os alunos façam com os objetos e com as ideias), o nível e a natureza do envolvimento dos alunos e o seu contexto prático (a duração da atividade, as fontes de informação disponíveis, entre outros fatores). A Tabela 2.1. exemplifica alguns dos aspetos tidos em consideração por Millar e colaboradores (2002) no seu sistema de classificação das atividades laboratoriais.

Uma outra classificação de trabalho laboratorial é apresentada por Bell, Smetana e Binns (2005). Estes autores associam o trabalho laboratorial ao ensino através de inquérito e descrevem um modelo que inclui quatro categorias de inquérito, que variam consoante a quantidade e o tipo de informação fornecida pelo professor ao aluno. Começando com atividades laboratoriais mais dirigidas pelo professor, em que é dada a maior parte da informação ao aluno, os autores estabeleceram os seguintes níveis de inquérito: de confirmação (nível 1), estruturado (nível 2), guiado (nível 3) e aberto (nível 4). A Tabela 2.2. caracteriza estes quatro níveis de inquérito.

Tabela 2.1.
Sistema de classificação das atividades laboratoriais quanto ao nível e à natureza do envolvimento dos alunos.

Grau de abertura da atividade			
Aspeto da atividade laboratorial	Definido pelo professor	Decidido em discussão	Escolhido pelos alunos
Questão			
Equipamento			
Procedimento			
Métodos de recolha de dados			
Interpretação dos resultados			
Natureza do envolvimento dos alunos			
Demonstrada pelo professor, os alunos observam			
Demonstrada pelo professor, os alunos observam e assistem-no			
Realizada pelos alunos em pequenos grupos			
Realizada pelos alunos individualmente			

Nota. Adaptado de Millar et al. (2002).

Tabela 2.2.
Modelo de quatro níveis de inquérito.

Nível de inquérito	Questão	Métodos	Interpretação dos resultados
1 (de confirmação)	X	X	X
2 (estruturado)	X	X	
3 (guiado)	X		
4 (aberto)			

Nota. O X assinala a informação fornecida pelo professor. Adaptado de Bell et al. (2005).

Nas atividades de confirmação (por exemplo, quando os alunos no final de um capítulo verificam um conceito que já foi ensinado) os alunos conhecem os resultados pretendidos e o professor fornece a questão e o procedimento. Nas atividades de inquérito estruturado, os alunos investigam uma questão, seguindo um determinado procedimento, ambos apresentados pelo professor. As atividades destes dois níveis de inquérito

são normalmente conhecidas como atividades laboratoriais tipo receita, uma vez que incluem instruções passo a passo. Pelo contrário, nas atividades de inquérito guiado é solicitado aos alunos que elaborem o procedimento de modo a responder à questão de investigação apresentada pelo professor e nas atividades laboratoriais de tipo aberto, os alunos formulam as questões e elaboram os seus procedimentos, pois nenhuma informação é fornecida pelo professor.

Bell e colaboradores (2005) defendem que os níveis de inquérito devem ser encarados como um contínuo, em que os alunos devem progredir gradualmente dos níveis mais baixos para os níveis mais elevados, devidamente acompanhados e orientados pelo professor. Apesar de se pretender levar os alunos a desenvolverem capacidades envolvidas numa atividade de nível 4, de tipo aberto, não se pode esperar que comecem a partir desse nível elevado de inquérito. Do mesmo modo, não se pode esperar que os alunos conduzam investigações de inquérito de elevado nível depois de terem participado exclusivamente em atividades de baixo nível.

Apesar da importância e da centralidade do trabalho laboratorial, não se defende a ideia do aluno como cientista, pois os alunos não conseguem por eles próprios construir o conhecimento científico. Há diferenças significativas entre a investigação realizada pelos cientistas e o trabalho laboratorial investigativo realizado pelos alunos. Os alunos devem ser encarados, como referem Gil-Pérez e colaboradores, como "investigadores novatos" (2002, p. 560), em que realizam investigação orientada pelo professor e os resultados que obtêm podem ser reforçados, completados ou questionados pelo professor e pelos outros alunos.

Exigência conceptual do trabalho prático. De acordo com o conceito desenvolvido por Morais e Neves (2012), apresentado na secção temática anterior (Parte I), a exigência conceptual da educação científica inclui aspetos relacionados com *o que* (conhecimentos e capacidades) e com *o como* (relações entre discursos) do discurso pedagógico. Centrando-se no trabalho prático, Ferreira e Morais (2014a) defendem que um trabalho prático conceptualmente exigente envolve a conceptualização de *o que*, ao

nível da complexidade dos conhecimentos científicos e das capacidades cognitivas mobilizados nesse trabalho prático, e de *o como*, ao nível da relação entre teoria e prática e da relação entre diferentes atividades práticas (Figura 2.3.). O próprio tipo de trabalho prático, nomeadamente do trabalho laboratorial, pode alterar o nível de exigência conceptual.

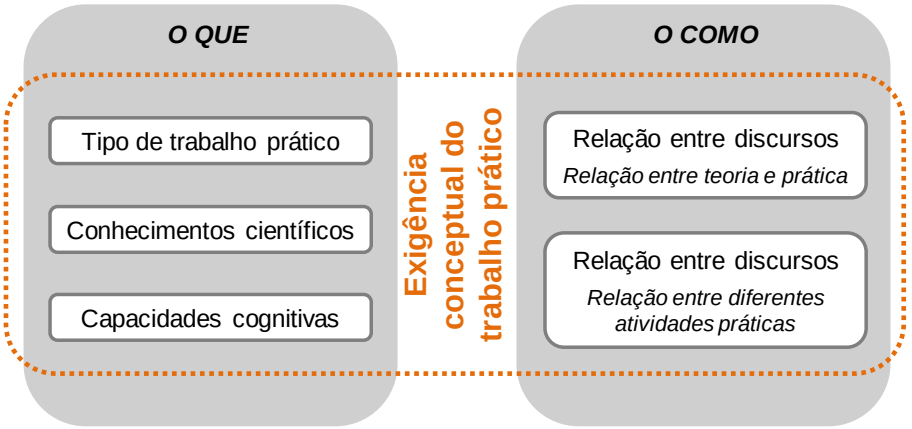


Figura 2.3. Parâmetros de exigência conceptual no âmbito das atividades práticas (adaptado de Ferreira, 2014 e de Ferreira & Morais, 2014a).

A análise do nível de exigência conceptual das atividades práticas configura-se de grande importância, tanto para os professores, como para outros agentes, direta ou indiretamente envolvidos na educação científica dos alunos, como são, por exemplo, os autores dos manuais escolares. A título de exemplo, são apresentados mais adiante (modelos de análise) instrumentos que permitem analisar a exigência conceptual de algumas destas dimensões, a propósito de atividades práticas presentes em currículos e em manuais escolares.

Considerações finais. Apesar da importância e da necessidade de implementar trabalho prático, com particular relevância para o trabalho laboratorial investigativo, para uma verdadeira aprendizagem das ciências, ele não deve ser realizado de qualquer forma e sem qualquer cuidado.

Aliás, vários autores (ex., Abrahams & Millar, 2008; Afonso et al., 2013) têm identificado dois grandes grupos de falhas que podem comprometer o potencial destas atividades:

(1) falhas estruturais, que se referem à ausência ou deficiente operacionalização de variáveis, à falta de rigor na identificação dos materiais e dos procedimentos, tornando difícil a sua realização e a obtenção de resultados válidos, e à falta de coerência entre o problema a investigar e o trabalho realizado para lhe dar resposta e entre os resultados obtidos e a interpretação que lhes é dada;

(2) falhas científicas e pedagógicas, que têm a ver com o recurso a atividades normalmente do tipo fechado, envolvendo um único caminho – o do protocolo experimental – e uma única solução, que são quase exclusivamente estruturadas e orientadas pelo professor, não apelando a conhecimentos científicos nem a capacidades de processos científicos de nível elevado, que não estabelecem relações com outras atividades, outros conhecimentos, outras capacidades de processos científicos anteriormente desenvolvidos, e que não integram o conhecimento mais teórico com os conhecimentos e os procedimentos mais práticos.

A promoção da exigência conceptual ao nível da implementação de atividades práticas em ciências exige condições físicas e logísticas, mas, essencialmente, a valorização da exigência conceptual do trabalho prático nos contextos de aprendizagem e de avaliação. Exige ainda, como condição indispensável e crucial, formação de professores nesta área.

Modelos de análise

Alguns dos principais problemas identificados nas atividades práticas laboratoriais podem ser colmatados tendo em consideração as dimensões de exigência conceptual do trabalho prático: complexidade dos conhecimentos científicos, complexidade das relações entre discursos e complexidade das capacidades cognitivas. Os modelos que se apresentam vão estar focados na análise realizada em diferentes textos e contextos de trabalho prático do sistema educativo português, mostrando-se exemplos do 1.º ciclo do ensino básico (CEB) e do ensino secundário.

Foram construídos e aplicados instrumentos de análise para a avaliação de cada uma das dimensões de exigência conceptual do trabalho prático. O instrumento de análise da complexidade das capacidades cognitivas contém quatro graus de complexidade. Esses graus têm sido definidos com base em diferentes taxonomias de categorização das capacidades cognitivas, de que é exemplo a taxonomia revista de Bloom (Anderson et al., 2001). Na Tabela 2.3. apresenta-se um excerto deste instrumento.

Tabela 2.3.
Excerto do instrumento de caracterização da complexidade das capacidades cognitivas ao nível do trabalho prático e exemplos de capacidades de processos científicos.

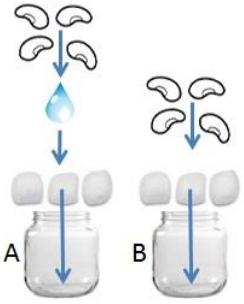
Grau 1	**Grau 2**	**Grau 3**	**Grau 4**
São referidas capacidades de baixo nível de complexidade, envolvendo processos que implicam adquirir e armazenar informação e compreender mensagens instrucionais simples.	São referidas capacidades com um nível de complexidade superior ao grau 1, como compreender mensagens instrucionais complexas e aplicar a um nível baixo.	São referidas capacidades com um nível de complexidade superior ao grau 2, envolvendo as capacidades de aplicar, a um nível elevado, e de analisar.	São referidas capacidades com um nível de complexidade muito elevado, como as capacidades de avaliar e de criar.
Exemplos de capacidades de processos científicos			
Observar (gráficos/ tabelas, procedimentos e resultados experimentais) Medir	Identificar variáveis Interpretar dados (menor complexidade)	Controlar variáveis Interpretar dados (maior complexidade)	Formular problemas Formular hipóteses

Nota. Adaptado de Afonso et al. (2013).

Na Tabela 2.4. apresentam-se dois exemplos de atividades práticas que podem ser solicitadas a alunos do 1.º CEB. No primeiro exemplo, as capacidades de processos científicos envolvidas na atividade que se

propõe são simples, ao nível do processo de compreensão de mensagens instrucionais simples: observar os resultados e descrever a atividade. Assim, este procedimento laboratorial foi classificado com o grau 1. No segundo exemplo, atribuiu-se o grau 4, pois as capacidades de processos científicos envolvidas são complexas, ao nível do processo de criação, já que se solicita ao aluno, por exemplo, a formulação do problema e a planificação de uma atividade laboratorial investigativa. São, por isso, dois exemplos de uma atividade semelhante que correspondem a valores extremos da escala de complexidade das capacidades de processos científicos.

Tabela 2.4.
Exemplos da complexidade das capacidades cognitivas em atividades de Estudo do Meio do 1.º CEB.

Exemplo 1 – Grau 1 1. Coloca o algodão no fundo do gobelé. 2. Humedece o algodão com 5ml de água. 3. Coloca as sementes no algodão húmido. 4. Observa os resultados de dois em dois dias. 5. Descreve a experiência que realizaste.
Exemplo 2 – Grau 4 1. Monta a experiência com a ajuda da figura. 2. Identifica o problema que a experiência procura dar resposta. 3. O que esperas que aconteça às sementes? 4. Regista os resultados de dois em dois dias; […] 5. Discute, com os teus colegas, uma explicação para os resultados obtidos. 6. Confronta as tuas ideias iniciais com as ideias finais. 7. Propõe melhorias para o trabalho desenvolvido. 8. Planifica agora uma experiência que te permita estudar a influência da luz na germinação das sementes.   

Na Tabela 2.5. apresentam-se exemplos para cada um dos graus de complexidade das capacidades cognitivas ao nível do trabalho prático do programa de Biologia e Geologia do ensino secundário (DES, 2001, 2003).

Tabela 2.5.
Exemplos da complexidade das capacidades cognitivas no programa de Biologia e Geologia do ensino secundário.

[1]	Grau 1 – "Observar células ao microscópio ótico composto (MOC)." (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 78)
[2]	Grau 2 – "Interpretar imagens e esquemas de células ao MOC." (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 78)
[3]	Grau 3 – "Organizar e interpretar dados de natureza diversa (laboratoriais, bibliográficos, internet...) sobre processos de transformação de energia a partir da matéria orgânica disponível." (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 84)
[4]	Grau 4 – "Formular e avaliar hipóteses relacionadas com a influência de fatores ambientais sobre o ciclo celular." (*Programa de Biologia e Geologia*, 11.º ano, p. 5)

Nota. Adaptado de Ferreira e Morais (2014a).

No excerto [1] apela-se à observação de células ao microscópio ótico composto e, por isso, esta unidade de análise foi classificada com o grau 1. No excerto [2] sobressai o processo científico de interpretação de dados de menor complexidade, tendo em conta o nível de escolaridade dos alunos – ensino secundário – e o tipo de imagem obtida pelo microscópio ótico composto. A unidade de análise foi, assim, classificada com o grau 2. No excerto [3] a metodologia sugerida apela a capacidades cognitivas mais complexas, como a organização e a interpretação de dados de maior complexidade, pelo que a unidade de análise foi classificada com o grau 3. No excerto [4] as metodologias sugeridas apelam a capacidades de processos científicos complexas, como formular e avaliar hipóteses. Estas capacidades estão incluídas nas categorias avaliar e criar da taxonomia revista de Bloom e, por isso, o excerto foi classificado com o grau 4.

Relativamente à complexidade dos conhecimentos científicos ao nível do trabalho prático, o instrumento de análise também contém quatro graus de complexidade. Essa complexidade está baseada na distinção entre factos, conceitos simples, conceitos complexos e temas unificadores/teorias. Na Tabela 2.6. apresenta-se um excerto deste instrumento.

Tabela 2.6.
Excerto do instrumento de caracterização da complexidade dos conhecimentos científicos ao nível do trabalho prático.

Grau 1	**Grau 2**	**Grau 3**	**Grau 4**
É referido conhecimento de baixo nível de complexidade, como factos.	É referido conhecimento de nível de complexidade superior ao grau 1, como conceitos simples.	É referido conhecimento de nível de complexidade superior ao grau 2, envolvendo conceitos complexos.	É referido conhecimento de nível de complexidade muito elevado, envolvendo temas unificadores e/ou teorias.

Nota. Adaptado de Afonso et al. (2013) e de Ferreira e Morais (2014a).

A título de exemplo, na Tabela 2.7. mostram-se diferentes níveis de complexidade de conhecimentos científicos que podem ser abordados através do trabalho prático em Estudo do Meio, recorrendo a unidades de análise de um manual do 3.º ano (Rodrigues et al., 2009). O excerto [5], classificado com o grau 1, corresponde a factos de um trabalho prático sobre o batimento cardíaco. O excerto [6], exemplificativo do grau 2, envolve conceitos simples relativos à passagem/interseção da luz pelos objetos. O excerto [7] envolve o conceito de condensação, que corresponde a um conceito complexo a este nível de escolaridade e, por isso, foi classificado com o grau 3. Considera-se que, ao nível do 1.º CEB, não é expectável que seja desenvolvido trabalho prático que implique temas unificadores e/ou teorias.

Tabela 2.7.
Exemplos da complexidade dos conhecimentos científicos ao nível do trabalho prático em manuais do 1.º CEB.

[5]	Grau 1 – "Para saberes quantas vezes bate o teu coração, por minuto, sente o teu pulso. Se colocares a ponta dos dedos indicador e médio da mão esquerda (como indica a figura), sentes o teu batimento cardíaco." (*Manual do 3.º ano*, p. 20)
[6]	Grau 2 – "Para saberes: O vidro deixa passar a luz permitindo ver através dele. Diz-se que é um corpo transparente. A cortina deixa passar alguma luz mas vê-se mal através dela. Diz-se que é um corpo translúcido. A persiana não se deixa atravessar pela luz. Diz-se que é um corpo opaco." (*Manual do 3.º ano*, p. 106)
[7]	Grau 3 – "Sabias que… O ar expirado contém água? Experimenta expirar sobre uma superfície fria e verás que a água se condensa em gotas minúsculas. Isso significa que a água passa do estado gasoso ao estado líquido." (*Manual do 3.º ano*, p. 22)

Na Tabela 2.8. apresentam-se também exemplos dos diferentes graus de complexidade dos conhecimentos científicos no âmbito do trabalho prático preconizado para o ensino secundário, dando continuidade à análise do programa de Biologia e Geologia (DES, 2001, 2003). No excerto [8] a metodologia apresentada, que corresponde à listagem das consequências da ocupação antrópica de leitos de cheia para as populações, sugere a mobilização de factos, pelo que foi classificada com o grau 1. O excerto [9] apela a conceitos simples. Os conceitos incluídos nesta unidade de trabalho prático, relacionados com a abertura e fecho dos estomas, apresentam um baixo nível de abstração. O excerto [10], comparado com o anterior, apresenta conceitos associados ao trabalho prático com um maior nível de abstração, relacionados com o transporte nas plantas, pelo que foi classificado com grau 3. Por último, no excerto [11] a metodologia apresentada apela à mobilização de conhecimentos de nível de complexidade muito elevado, envolvendo a teoria celular – a célula como unidade estrutural e funcional de todos os seres vivos. Deste modo, o excerto foi classificado com o grau 4.

Tabela 2.8.
Exemplos da complexidade dos conhecimentos científicos ao nível do trabalho prático no programa de Biologia e Geologia do ensino secundário.

[8]	Grau 1 – "Pesquisa de informação através da Internet, de jornais e de revistas sobre as consequências das referidas situações [ex., a ocupação antrópica de leitos de cheia] para as populações." (*Programa de Biologia e Geologia*, 11.º ano, p. 28)
[9]	Grau 2 – "Interpretar dados experimentais de modo a compreender os processos de abertura e fecho dos estomas." (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 84)
[10]	Grau 3 – "Interpretar dados experimentais de modo a compreender as estratégias de transporte que a planta utiliza na distribuição de matéria a todas as suas células." (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 82)
[11]	Grau 4 – "No pós-saída de campo os dados recolhidos devem ser utilizados como ponto de partida para a exploração dos restantes conceitos da unidade. Observar/Comparar/Identificar seres uni e multicelulares (e/ou tecidos) existentes nas amostras e/ou outras infusões/culturas adequadas deverá permitir (re)construir o conceito de célula como unidade estrutural e funcional de todos os seres vivos. […]" (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 79)

Nota. Adaptado de Ferreira e Morais (2014a).

No que respeita à análise das relações intradisciplinares (relações entre conhecimentos da mesma disciplina), foca-se a relação entre teoria e prática. O instrumento foi construído de modo a possuir também uma escala de quatro graus, tendo-se recorrido ao conceito de classificação de Bernstein (1990, 2000) para definir os quatro graus da escala. A classificação diz respeito ao estabelecimento de fronteiras mais ou menos acentuadas, neste caso, entre a teoria e a prática. Deste modo, o valor extremo da classificação mais fraca (Grau 4/C^{-} $^{-}$) corresponde a uma integração/ unificação da teoria e da prática, em que ambas têm igual estatuto, e o valor extremo de classificação mais forte (Grau 1/C^{++}) indica uma separação muito marcada entre a teoria e a prática.

Neste instrumento, os descritores para cada indicador referem a relação entre teoria e prática traduzida através da relação entre conhecimento declarativo e conhecimento processual. O conhecimento declarativo (associado à teoria), também denominado por conhecimento substantivo,

corresponde ao conhecimento de termos, factos, conceitos e teorias específicos de uma determinada disciplina (Anderson et al., 2001; Robert, Gott & Glaesser, 2010). O conhecimento processual (associado à prática) corresponde não só ao conhecimento de como fazer algo, de técnicas e métodos específicos de uma determinada disciplina, mas também ao conhecimento dos processos científicos (Robert, Gott & Glaesser, 2010). No caso da disciplina de Biologia e Geologia, o conhecimento processual envolve, por exemplo, o conhecimento de como identificar as variáveis independentes, o conhecimento de como planificar uma atividade laboratorial investigativa e ainda o conhecimento de como utilizar o microscópio ótico composto. Apresenta-se um excerto deste instrumento na Tabela 2.9.

Tabela 2.9.
Excerto do instrumento de caracterização da complexidade das relações entre teoria e prática.

Grau 1 $\mathbf{C^{++}}$	**Grau 2** $\mathbf{C^{+}}$	**Grau 3** $\mathbf{C^{-}}$	**Grau 4** $\mathbf{C^{--}}$
É contemplado apenas conhecimento declarativo ou apenas conhecimento processual.	É contemplado quer conhecimento declarativo, quer conhecimento processual, mas não é estabelecida uma relação entre eles.	É contemplada uma relação entre conhecimento declarativo e conhecimento processual. Contudo, centram-se em conhecimento declarativo ou em conhecimento processual.	É contemplada uma relação entre conhecimento declarativo e conhecimento processual. Nesta relação, os dois tipos de conhecimento têm igual estatuto.

Nota. Adaptado de Ferreira e Morais (2014a).

Como se pode verificar na Tabela 2.9., estabeleceu-se que os graus 1 e 2 da escala, correspondentes aos valores mais fortes de classificação (C^{++} e C^{+}), referem-se a situações em que não há a relação entre o conhecimento declarativo e o conhecimento processual. No grau 1 é apenas focado um desses tipos de conhecimento e no grau 2 são abordados ambos mas não se relacionam entre si. Os graus 3 e 4, correspondentes a classificações mais

fracas (C^- e C^{--}), referem-se a situações em que ocorre relação entre os conhecimentos declarativo e processual com diferentes enfoques, no grau 3, e com igual estatuto, no grau 4.

Na Tabela 2.10. apresentam-se exemplos do programa de Estudo do Meio do 1.º ciclo (DEB, 2004) para cada um dos graus de complexidade da relação entre teoria e prática, isto é, da relação entre conhecimento declarativo e conhecimento processual.

Tabela 2.10.
Exemplos da complexidade da relação entre teoria e prática.

[12]	Grau $1/C^{++}$ – "Os alunos deverão utilizar, em situações concretas, instrumentos de observação e medida como, por exemplo, o termómetro, a bússola, a lupa, os binóculos…" (*Programa de Estudo do Meio*, p. 115)
[13]	Grau $2/C^{+}$ – "Os ossos: reconhecer a existência dos ossos; reconhecer a sua função (suporte e proteção); observar em representações do corpo humano." (*Programa de Estudo do Meio*, p. 109)
[14]	Grau $3/C^{-}$ – "Identificar alguns fatores do ambiente que condicionam a vida das plantas e dos animais (água, ar, luz, temperatura, solo) – realizar experiências." (*Programa de Estudo do Meio*, p. 117)
[15]	Grau $4/C^{--}$ – "Comparar e classificar plantas segundo alguns critérios, tais como: cor da flor, forma da folha, folha caduca ou persistente, forma da raiz, plantas comestíveis e não comestíveis… (constituição de um herbário)." (*Programa de Estudo do Meio*, p. 117)

Como se pode verificar na Tabela 2.10., o primeiro exemplo envolve apenas conhecimento processual, relativo aos instrumentos de observação e de medida (Grau $1/C^{++}$). No excerto [13], classificado com o grau 2, é mencionado conhecimento declarativo relativo aos ossos, assim como conhecimento processual, associado à observação de representações, mas não é estabelecida uma relação entre esses conhecimentos. No excerto [14] estabelece-se uma relação entre teoria e prática, mas o conhecimento declarativo sobre os fatores que condicionam a vida das plantas e dos animais tem um estatuto mais elevado que o conhecimento processual. No caso do excerto [15], relativo à construção de um herbário, a teoria e a prática têm igual estatuto.

Na Tabela 2.11. mostram-se exemplos do programa de Biologia e Geologia do ensino secundário (DES, 2001, 2003) para diferentes graus de complexidade da relação entre teoria e prática. No excerto [16], a metodologia apela apenas a conhecimento declarativo sobre as estruturas respiratórias dos animais, pelo que foi avaliada com o grau 1 (classificação muito forte). Pelo contrário, o excerto [17] apela à relação entre conhecimento declarativo e conhecimento processual, relativo à análise e interpretação de esquemas/tabelas, mas é o conhecimento declarativo sobre os mecanismos de replicação, transcrição e tradução que apresenta um estatuto mais elevado (Grau 3/C$^-$). No caso do excerto [18], a orientação metodológica apela a uma relação entre teoria e prática com igual estatuto. Este excerto foi, assim, avaliado com o grau 4 (classificação muito fraca). No programa de Biologia e Geologia não existem unidades avaliadas com o grau 2, ou seja, unidades em que os dois tipos de conhecimentos estão presentes, mas sem relação entre eles.

Estes diversos instrumentos, com as respetivas adaptações, têm permitido inferir quanto ao nível de exigência conceptual do trabalho prático de diferentes textos e contextos educacionais de ciências do sistema educativo português (ex., Afonso et al., 2013; Ferreira & Morais, 2014a).

Análise de atividades laboratoriais – *Workshop*

O conceito de exigência conceptual preconizado por Morais e Neves (2012), em investigação recente realizada pelo Grupo ESSA (ex., Ferreira & Morais, 2014a), foi adaptado, como já referido, ao contexto do trabalho prático (Figura 2.3.). Esse nível de exigência conceptual pode ser apreciado em diferentes textos e contextos pedagógicos, como os currículos ou programas das disciplinas, os exames nacionais, os manuais escolares e as práticas pedagógicas. Considerando as práticas pedagógicas, essa análise é importante, por exemplo, se os professores pretenderem averiguar o nível de exigência conceptual dos diferentes textos que utilizam, adaptam e/ou produzem ao nível do trabalho prático,

nomeadamente laboratorial, quer no contexto de transmissão/aquisição[2] quer no contexto de avaliação.

Tabela 2.11.
Exemplos da complexidade da relação entre teoria e prática no programa de Biologia e Geologia do ensino secundário.

[16]	Grau $1/C^{++}$ – "Relacionar as estruturas respiratórias dos animais com a sua complexidade e adaptação ao meio." (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 85)
[17]	Grau $3/C^{-}$ – "Análise e interpretação de esquemas, tabelas com dados experimentais, ... relativos às características das moléculas de DNA e RNA e aos mecanismos de replicação, transcrição e tradução. Estas atividades deverão permitir ao aluno conhecer as diferenças entre as várias moléculas estudadas, bem como compreender a importância dos processos em estudo na manutenção da informação genética, da vida e da estrutura celular." (*Programa de Biologia e Geologia*, 11.º ano, p. 6)
[18]	Grau $4/C^{--}$ – "Face à situação-problema "O que acontece às dinâmicas que existem num ecossistema quando este é sujeito a alterações?", propõe-se trabalho de campo articulado com atividades de sala de aula/laboratório a realizar antes e depois da saída. Como objeto(s) de estudo sugerem-se ambientes reais, tanto quanto possível na proximidade da Escola […]." (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 79)

Nota. Adaptado de Ferreira e Morais (2014a).

Este *workshop* está centrado na análise da exigência conceptual veiculada em três opções diferentes de estruturação e exploração de uma atividade laboratorial apresentada num manual de Biologia e Geologia do 10.º ano de escolaridade. Para tal, recorre-se a instrumentos de análise produzidos no âmbito de alguns estudos realizados pelo Grupo ESSA, previamente apresentados (modelos de análise).

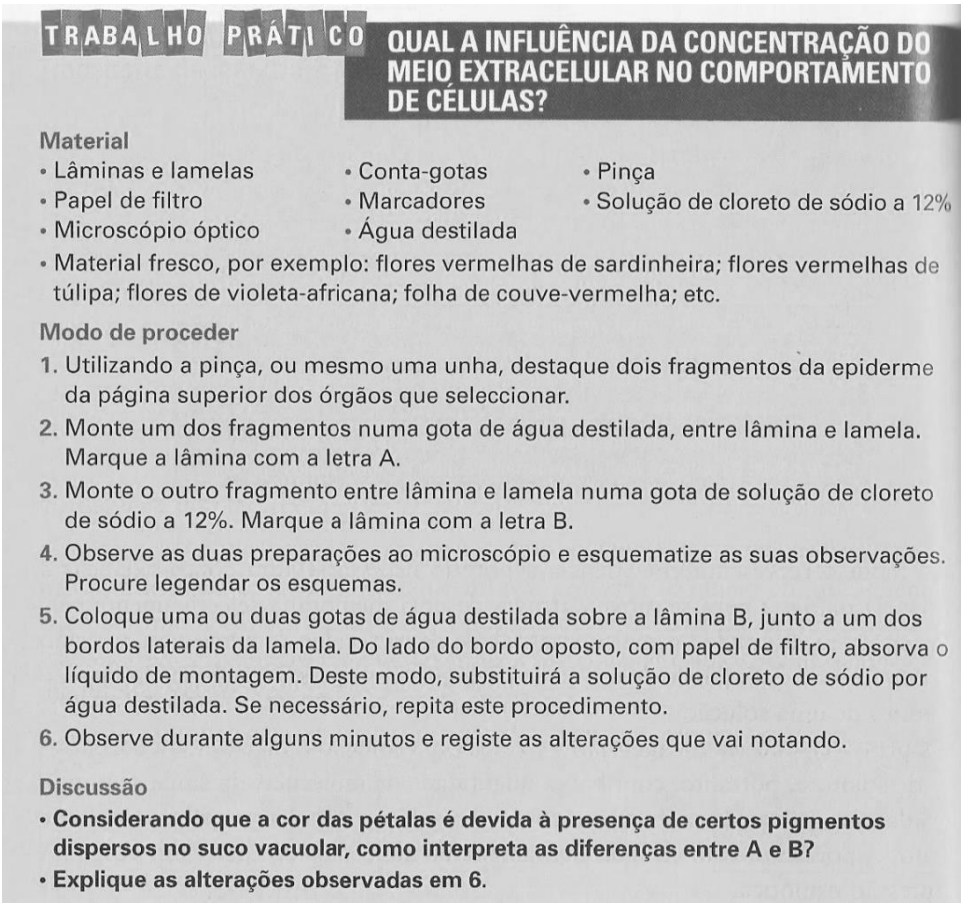
[2] Pode afirmar-se que qualquer contexto de interação pedagógica representa um determinado contexto de transmissão e de aquisição, entre um transmissor e um adquiridor, com determinadas relações de poder e de controlo. Deste modo, diferentes modalidades de código pedagógico e, consequentemente, diferentes modalidades de prática pedagógica podem ocorrer ou mais centradas no adquiridor ou mais centradas no transmissor, aproximando-se, respetivamente, dos casos extremos de um contínuo entre práticas progressivas e tradicionais.

Desenvolvimento do workshop

Parâmetros e instrumentos de análise. Na Figura 2.4. apresenta-se uma atividade laboratorial selecionada de um manual de Biologia e Geologia (Silva et al., 2007) e que pretende ir ao encontro de uma das sugestões metodológicas indicadas no programa de 10.º ano na temática 'Obtenção de matéria': "sugere-se a observação e interpretação, em tempo real, de variações do volume vacuolar de células vegetais (epitélio do bolbo da cebola, epiderme de pétalas… ao MOC) em função da variação da concentração do meio (soluções aquosas de cloreto de sódio, de glicose, …) " (DES, 2001, p. 81). Partindo do protocolo experimental apresentado (material e procedimento), consideram-se três opções diferentes de estruturação e exploração dessa atividade, variando a parte introdutória e as questões de discussão.

No âmbito deste *workshop* e tendo em consideração o tempo disponível, a análise do nível de exigência conceptual de atividades laboratoriais está centrada numa dimensão relativa a *o que* se ensina – a complexidade das capacidades cognitivas, destacando-se as capacidades de processos científicos – e numa dimensão relativa a *o como* se ensina – a relação entre teoria e prática (Figura 2.3.). Relativamente aos processos científicos, discutem-se também a formulação de problemas e de hipóteses.

Para a análise da complexidade das capacidades cognitivas, exploradas no trabalho prático avaliado neste *workshop*, recorre-se a um instrumento com quatro graus de complexidade que se baseou na categorização das capacidades cognitivas da taxonomia revista de Bloom (Anderson et al., 2001). Na Tabela 2.3. apresentou-se um excerto deste instrumento e na Tabela 2.12. mostram-se exemplos de capacidades de processos científicos para cada uma das categorias da taxonomia revista de Bloom. Salienta-se que os exemplos apresentados não pretendem ser exaustivos.



TRABALHO PRÁTICO

QUAL A INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DO MEIO EXTRACELULAR NO COMPORTAMENTO DE CÉLULAS?

Material

- Lâminas e lamelas
- Papel de filtro
- Microscópio óptico
- Conta-gotas
- Marcadores
- Água destilada
- Pinça
- Solução de cloreto de sódio a 12%
- Material fresco, por exemplo: flores vermelhas de sardinheira; flores vermelhas de túlipa; flores de violeta-africana; folha de couve-vermelha; etc.

Modo de proceder

1. Utilizando a pinça, ou mesmo uma unha, destaque dois fragmentos da epiderme da página superior dos órgãos que seleccionar.
2. Monte um dos fragmentos numa gota de água destilada, entre lâmina e lamela. Marque a lâmina com a letra A.
3. Monte o outro fragmento entre lâmina e lamela numa gota de solução de cloreto de sódio a 12%. Marque a lâmina com a letra B.
4. Observe as duas preparações ao microscópio e esquematize as suas observações. Procure legendar os esquemas.
5. Coloque uma ou duas gotas de água destilada sobre a lâmina B, junto a um dos bordos laterais da lamela. Do lado do bordo oposto, com papel de filtro, absorva o líquido de montagem. Deste modo, substituirá a solução de cloreto de sódio por água destilada. Se necessário, repita este procedimento.
6. Observe durante alguns minutos e registe as alterações que vai notando.

Discussão

- **Considerando que a cor das pétalas é devida à presença de certos pigmentos dispersos no suco vacuolar, como interpreta as diferenças entre A e B?**
- **Explique as alterações observadas em 6.**

Figura 2.4. Atividade laboratorial apresentada num manual de Biologia e Geologia do 10.º ano de escolaridade (Silva et al., 2007).

Para a análise da relação entre teoria e prática, recorre-se a um instrumento com uma escala de quatro graus, definidos com base no conceito de classificação de Bernstein (1990, 2000). Como se pode verificar no excerto apresentado na Tabela 2.9., os descritores para cada indicador descrevem a relação entre teoria e prática traduzida pela relação entre conhecimento declarativo e conhecimento processual.

Tabela 2.12.
Exemplos de capacidades de processos científicos de diferentes graus de complexidade.

Grau 1		**Grau 2**	
Memorizar	Compreender (simples)	Compreender (complexa)	Aplicar (simples)
Indicar Ler tabelas/ gráficos Medir	Observar (gráficos/ tabelas, procedimentos e resultados experimentais)	Comentar[1] Construir esquemas/ gráficos Explicar[1] Identificar variáveis Inferir[1] Interpretar dados[1] Registar Prever[1]	Mobilizar[1]
Grau 3		**Grau 4**	
Aplicar (complexa)	Analisar	Avaliar	Criar
Aplicar Mobilizar[2]	Comentar[2] Controlar variáveis Inferir[2] Interpretar dados[2] Investigar (pesquisar, selecionar e organizar informação) Pesquisar Questionar	Argumentar Avaliar Criticar Julgar Prever[2] Resolver problemas Tomar decisões	Explicar[2] Formular hipóteses Formular problemas Planear e realizar atividades laboratoriais investigativas Planear e/ou realizar projetos

Análise dos textos. Tendo em consideração esses dois instrumentos, procede-se à análise das três opções (A, B e C) de estruturação e exploração da atividade laboratorial incluída num manual de Biologia e Geologia de 10.º ano de escolaridade (Figura 2.5.). As opções apresentadas já se encontram organizadas em unidades de análise (Tabelas 2.14. a 2.16.). Salienta-se que na presença de capacidades de processos científicos de diferentes níveis de complexidade, avalia-se o excerto pela capacidade de maior grau de complexidade. A análise da relação entre teoria e prática realiza-se de um modo global para cada uma das opções, isto é, é atribuída uma classificação para o conjunto de unidades de análise de cada opção. Após a análise pelos diferentes grupos[3], durante cerca de 60 minutos, passa-se à sua discussão geral.

[3] Devido às condições dos espaços disponíveis, não foi possível fazer grupos de trabalho, como estava previsto. A análise das opções da atividade laboratorial foi realizada a pares.

Discussão da análise dos textos. Através da análise efetuada, é possível verificar que a partir da mesma orientação metodológica do programa e do mesmo protocolo laboratorial do manual do aluno, o professor, recorrendo à sua autonomia, pode aumentar ou diminuir o nível de exigência conceptual do trabalho prático, nomeadamente laboratorial, que implementa nas suas aulas de ciências. Por exemplo, a partir da mesma situação problemática, na opção B é apresentado o problema aos alunos enquanto na opção C é pedido aos alunos que formulem o problema e as hipóteses (processos cognitivos mais complexos).

Nas Tabelas 2.13., 2.14. e 2.15. apresenta-se uma proposta de análise das três opções da atividade laboratorial. A opção A (Tabela 2.13.) corresponde a uma atividade com um baixo nível de exigência conceptual. Na parte introdutória desta atividade é apenas levantada uma questão problemática, sem um caráter investigativo. Na discussão, as questões colocadas mobilizam sobretudo capacidades cognitivas ao nível da compreensão (graus 1 e 2). Quanto à relação entre teoria e prática, é estabelecida essa relação, mas o conhecimento declarativo tem um estatuto mais elevado.

A opção B (Tabela 2.14.) é uma atividade com um nível intermédio de exigência conceptual. Na parte introdutória desta atividade, é apresentado um problema investigativo, formulado com precisão. Neste caso, os alunos têm de perceber que há uma relação entre os dados e o problema. Salienta-se que o professor deverá discutir com os alunos o modo como o problema foi elaborado a partir dos dados fornecidos. Considera-se que é necessário que os alunos aprendam o conhecimento processual de como se formula um problema, para mais tarde serem eles próprios a fazê-lo. Na discussão, as três primeiras questões mobilizavam capacidades cognitivas, ao nível da compreensão (grau 2), e a última questão mobilizava capacidades mais complexas, ao nível da análise (grau 3). Quanto à relação entre teoria e prática, na globalidade do texto estabelece-se essa relação, mas o conhecimento declarativo tem um estatuto mais elevado. Esta opção apresenta, assim, um nível de exigência conceptual superior ao da opção A mas inferior ao da opção B.

Tabela 2.13.
Proposta de análise da opção A de atividade laboratorial de Biologia e Geologia do 10.º ano.

Atividade laboratorial de Biologia e Geologia 10.º ano - Unidade 'Obtenção de matéria' Opção A	**Análise**	
	Complexidade das capacidades de processos científicos	Relação entre teoria e prática
O movimento da água através da membrana celular está dependente da concentração do meio interno e do meio externo. Considere os seguintes dados: Se colocarmos um ramo de sardinheira em água salgada, ela murcha e morre passado pouco tempo. De igual modo, se transferirmos algas marinhas para um aquário de água doce, elas não resistem à mudança de meio. Porque será que estas situações acontecem? Através da atividade laboratorial que irá realizar, obterá mais dados que o ajudarão a responder a esta questão.	*Não se aplica*	Grau 3 (C^-)
Material e procedimento do manual do aluno (apresentados na Figura 2.4.)	Grau 2	
Discussão: a. Qual ou quais as variáveis em estudo nesta experiência?	Grau 2	
b. Indique as diferenças observadas em A e B.	Grau 1	
c. Indique as alterações observadas na etapa 6.	Grau 1	
d. Com base nos resultados obtidos na experiência, explique por que razão as plantas morrem quando colocadas num meio com uma concentração salina diferente da do seu meio habitual.	Grau 2	

Nota. Adaptado de Ferreira (2014).

A opção C (Tabela 2.15.) é uma atividade com um elevado nível de exigência conceptual. Na parte introdutória desta atividade, era solicitado aos alunos que formulassem o problema com precisão (teriam de formular um problema que pudesse ser investigado, que dirigisse a investigação) e hipóteses que respondessem a esse problema. Estas capacidades correspondem a capacidades de processos científicos complexas, ao nível da criação (grau 4). Esta opção corresponde a uma atividade de resolução de problemas na vertente de exploração de novos conhecimentos, em que os alunos iriam explorar conhecimento novo e aplicar algum do

conhecimento que já teriam. Por exemplo, os alunos teriam de aplicar conceitos prévios como célula e osmose, mas iriam explorar conceitos como os de plasmólise e turgescência.

Tabela 2.14.
Proposta de análise da opção B de atividade laboratorial de Biologia e Geologia do 10.º ano.

Atividade laboratorial de Biologia e Geologia 10.º ano - Unidade 'Obtenção de matéria' Opção B	**Análise**	
	Complexidade das capacidades de processos científicos	Relação entre teoria e prática
Os seres vivos dependem da água para a sua sobrevivência, uma vez que é uma substância que intervém em muitas funções celulares. No entanto, não é indiferente para os seres vivos se a água é salgada ou é doce. Considere os seguintes dados: Se colocarmos um ramo de sardinheira em água salgada, ela murcha e morre passado pouco tempo. De igual modo, se transferirmos algas marinhas para um aquário de água doce, elas não resistem à mudança de meio. Estas duas situações permitem colocar o seguinte problema: Por que razão as plantas morrem quando colocadas num meio com uma concentração salina diferente da do seu meio habitual? Através da atividade laboratorial que irá realizar, obterá mais dados que o ajudarão a responder a este problema.	Grau 2	Grau 3 (C-)
Material e procedimento do manual do aluno (apresentados na Figura 2.4.)	Grau 2	
Discussão: a. Qual ou quais as variáveis em estudo nesta experiência?	Grau 2	
b. Explique as diferenças observadas em A e B.	Grau 2	
c. Explique as alterações observadas na etapa 6.	Grau 2	
d. Com base nos resultados obtidos na experiência, responda ao problema.	Grau 3	

Nota. Adaptado de Ferreira (2014).

Destaca-se ainda que a atividade que se apresenta na opção C poderia ser mais aberta e mais complexa se fosse pedido aos alunos que planificassem o procedimento (ou partindo do material que era fornecido pelo professor ou pensando também no material necessário). Mesmo dando o material, a

atividade apresenta uma planificação complexa. A opção por este grau de abertura vai depender do conhecimento processual dos alunos.

Tabela 2.15.
Proposta de análise da opção C de atividade laboratorial de Biologia e Geologia do 10.º ano.

Atividade laboratorial de Biologia e Geologia 10.º ano - Unidade 'Obtenção de matéria' Opção C	**Análise**	
	Complexidade das capacidades de processos científicos	Relação entre teoria e prática
Os seres vivos dependem da água para a sua sobrevivência, uma vez que é uma substância que intervém em muitas funções celulares. No entanto, não é indiferente para os seres vivos se a água é salgada ou é doce. Considere os seguintes dados: Se colocarmos um ramo de sardinheira em água salgada, ela murcha e morre passado pouco tempo. De igual modo, se transferirmos algas marinhas para um aquário de água doce, elas não resistem à mudança de meio. a. Qual o problema que estas duas situações lhe sugerem?	Grau 4	Grau 4 (C⁻⁻)
b. Formule uma hipótese que responda a esse problema. Através da atividade laboratorial que irá realizar, terá a possibilidade de testar a hipótese formulada.	Grau 4	
Material e procedimento do manual do aluno (apresentados na Figura 2.4.)	Grau 2	
Discussão: a. Explique as diferenças observadas em A e B.	Grau 2	
b. Explique as alterações observadas na etapa 6.	Grau 2	
c. Avalie se a sua hipótese foi apoiada ou rejeitada? Justifique.	Grau 4	
d. Com base nos resultados obtidos na experiência, comente a seguinte afirmação: "A membrana celular constitui um importante elemento de controlo das substâncias que se movimentam do meio interno para o meio externo e vice-versa".	Grau 3/ Grau 4	

Nota. Adaptado de Ferreira (2014).

Os processos científicos de formulação de problemas e de hipóteses (de elevada complexidade) surgem, frequentemente e para os diferentes níveis de escolaridade, mal formulados. Deste modo, considera-se que é

importante discuti-los. Partindo da proposta de estruturação e de exploração da atividade laboratorial apresentada na opção C (Tabela 2.15.), solicita-se aos diferentes grupos de trabalho que avaliem diferentes problemas e, posteriormente, diferentes opções de hipóteses que os alunos poderiam apresentar (Tabela 2.16.).

Tabela 2.16.
Análise da formulação de problemas e de hipóteses, com base na opção C de atividade laboratorial.

A. Considere os seguintes problemas formulados por alunos na resposta à *alínea a* da opção C:
(1) O que acontece às plantas quando são colocadas em meio diferente do seu meio habitual?
(2) Por que razão as plantas morrem quando colocadas num meio com uma concentração salina diferente da do seu meio habitual?
(3) Será que as plantas conseguem sobreviver quando mudam de meio?
Avalie estes problemas, tendo em conta a sua adequação à situação apresentada e a sua formulação.
B. Considere as seguintes hipóteses formuladas por alunos na resposta ao problema "Por que razão as plantas morrem quando colocadas num meio com uma concentração salina diferente da do seu meio habitual"?:
(1) As plantas morrem porque não estão no seu meio habitual.
(2) Será que as plantas morrem porque existem ganhos ou perdas de água através da membrana celular?
(3) As plantas morrem porque, devido a processos de osmose através da membrana celular, ocorre um desequilíbrio entre os meios intra e extracelular.
Avalie estas hipóteses, tendo em conta a sua adequação ao problema e a sua formulação.

No que diz respeito aos problemas (Tabela 2.16.), o primeiro e o terceiro têm resposta nas duas situações apresentadas, uma vez que os dados já referem que ambas as plantas morrem. Deste modo, os problemas não são adequados à situação. Além disso, o terceiro problema encontra-se incorretamente formulado, sugerindo uma resposta do tipo sim/não. O segundo problema está bem formulado e é adequado à situação, dado que a partir dos dados é possível saber que as plantas morrem e os alunos querem investigar por que razão morrem.

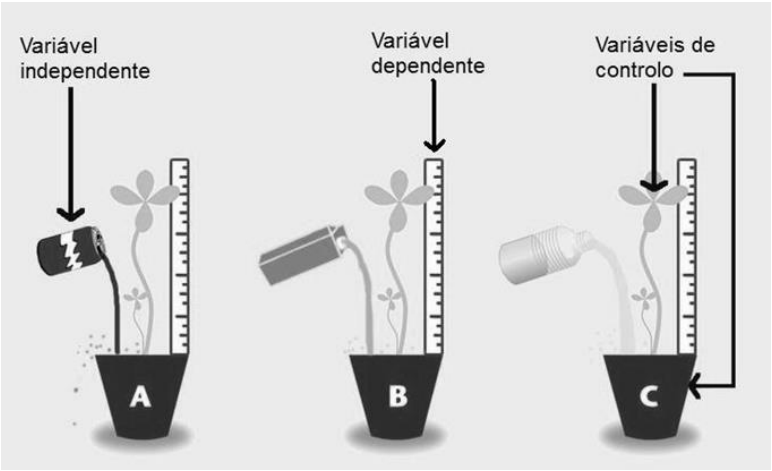
Quanto às várias opções de hipóteses (Tabela 2.16.), a primeira apresenta uma resposta fornecida nas duas situações, por exemplo, já é referido que as algas marinhas morrem quando são colocadas em água doce. Assim sendo, essa hipótese não é adequada ao problema. A segunda opção encontra-se mal formulada, dado que a hipótese não deve ser apresentada na forma de questão. A terceira opção está baseada nos dados e constitui uma resposta ao problema, que é passível de ser testada. É, assim, uma hipótese adequada a esse problema.

De modo a sistematizar alguns fundamentos teóricos subjacentes aos processos científicos de formular problemas, formular hipóteses e identificar e controlar variáveis, apresenta-se e discute-se a informação que consta na Tabela 2.17.

Tabela 2.17.
Fundamentos teóricos de alguns processos científicos.

Formular problemas
O problema, que toma normalmente a forma de uma questão, é o ponto de partida para a investigação. A partir daí é preciso fazer uma antevisão de todo o conjunto de materiais e procedimentos a pôr em prática, tendo em vista a obtenção de resposta à questão que o problema coloca. O problema deve estar formulado em termos de uma questão investigável.
Formular hipóteses
Uma hipótese consiste numa resposta provisória a problemas ou questões que podem ser investigados e baseia-se em conhecimento anterior. Na formulação de hipóteses é necessário identificar: - os elementos do problema; - os aspetos fundamentais da situação em estudo; - a relevância da hipótese em relação ao problema; - a precisão dos termos em que é colocada a hipótese e se é testável.
Identificar e controlar variáveis
As variáveis correspondem a condições que potencialmente podem afetar o desenrolar de um fenómeno ou acontecimento e, por isso, podem interferir nos resultados. Na realização de experiências é necessário definir previamente quais as variáveis a controlar (variáveis de controlo), a manipular (variável independente) e a estudar e analisar a evolução (variável dependente). Por exemplo, na figura que se segue, o líquido usado para regar cada planta constitui a variável independente, o crescimento da planta é a variável dependente e como variáveis de controlo pode-se indicar o tipo de planta

usado, o vaso, o solo, a quantidade de líquido, as condições do meio em que é mantida a planta, entre outros.



Nota. Adaptado de Afonso (2008), de BSCS (2003, 2009) e de Harlen (1993).

Considerações finais

Os instrumentos de análise utilizados no *workshop* têm o potencial de salientar o nível de exigência conceptual de diferentes tipos de atividades laboratoriais, em termos de dimensões de *o que* e de *o como* do trabalho prático. Os professores podem recorrer a esses instrumentos para avaliarem o nível de exigência conceptual das diferentes atividades laboratoriais, ou outros trabalhos práticos, que implementam nos contextos de transmissão/aquisição e de avaliação. Deste modo, conseguem estar conscientes das opções que tomam, ou pretendem tomar, ao nível da prática pedagógica.

É importante salientar que a realização de atividades laboratoriais de caráter investigativo, com um nível de exigência conceptual mais elevado, é mais exigente quer para os alunos quer para o professor. Este necessita de, durante a realização das atividades, ser capaz de dar uma orientação criteriosa que ajude os alunos a avançarem no trabalho sem lhes dar respostas diretas. Além disso, numa fase inicial, os alunos precisam de aprender a formular problemas e hipóteses investigativas porque, caso contrário, não saberão o que lhes está a ser questionado. Deste modo, no

início do ano letivo, o professor pode optar pela realização de uma atividade laboratorial em que o problema investigativo e o protocolo experimental são fornecidos aos alunos. Posteriormente, pode passar para atividades laboratoriais com um maior grau de abertura, sendo solicitado ao aluno, por exemplo, a formulação do problema e das hipóteses e fornecido o procedimento da atividade.

Resultados da investigação

A partir do trabalho desenvolvido no *workshop*, é possível verificar que, a partir da mesma orientação metodológica do programa e do mesmo protocolo laboratorial do manual do aluno, o professor, através da sua autonomia, pode alterar o nível da exigência conceptual do trabalho prático que implementa nas suas aulas de ciências. Esse maior ou menor nível de exigência conceptual pode ocorrer, sobretudo, devido à diferença de complexidade dos conhecimentos científicos, das capacidades de processos científicos e/ou da relação entre teoria e prática. Com foco na exigência conceptual do trabalho prático na disciplina de Biologia e Geologia do ensino secundário, apresentam-se alguns resultados de investigação.

Os resultados de investigação dizem sobretudo respeito a uma investigação de doutoramento centrada no trabalho prático em Biologia e Geologia do ensino secundário, analisado a vários níveis do sistema educativo (Ferreira, 2014). No contexto desse estudo, o trabalho prático foi encarado de modo abrangente, em consonância com o preconizado no currículo da disciplina (DES, 2001, 2003), de modo a englobar todas as atividades em que o aluno estivesse ativamente envolvido e que permitissem a mobilização de capacidades de processos científicos.

O esquema representado na Figura 2.5. pretende ilustrar, de forma genérica, as diferentes etapas da investigação e a inter-relação entre elas. Pretendeu-se, por um lado, investigar questões relacionadas com as orientações dadas pelo Ministério da Educação, expressas nos documentos oficiais, quanto ao trabalho prático. Por outro lado, também se pretendeu investigar as conceções e as práticas de professores a lecionarem esta

disciplina. A análise do trabalho prático focou-se em duas dimensões de análise – o nível de exigência conceptual e a natureza das relações sociológicas entre sujeitos, entre discursos e entre espaços – e em dois contextos do processo de ensino/aprendizagem – o contexto de transmissão/aquisição e o contexto de avaliação. Em consonância com os trabalhos anteriormente apresentados nesta secção temática, a análise dos resultados desta investigação está centrada no nível de exigência conceptual do trabalho prático nos documentos oficiais e nas práticas dos professores, nos contextos de transmissão/aquisição e de avaliação.

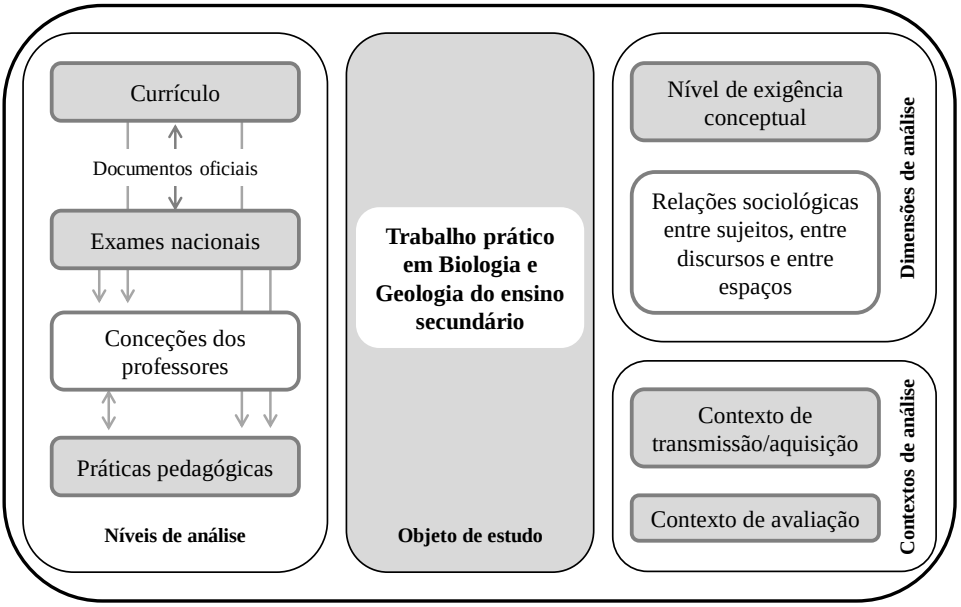


Figura 2.5. Esquema geral da investigação centrada no trabalho prático em Biologia e Geologia do ensino secundário (Ferreira, 2014).

Aspetos metodológicos

Na primeira fase do estudo, relacionada com a análise do trabalho prático nos documentos oficiais, foram analisados o currículo de Biologia e Geologia do 10.º e 11.º anos de escolaridade (DES, 2001, 2003) e as fichas de avaliação externa dessa disciplina, nomeadamente os exames nacionais

e os testes intermédios realizados até 2011[4]. Essa análise centrou-se nas seguintes dimensões de exigência conceptual do trabalho prático: complexidade dos conhecimentos científicos, complexidade das capacidades cognitivas e complexidade das relações entre discursos, nomeadamente a relação entre teoria e prática e a relação entre diferentes atividades práticas. Os dados para essa análise foram recolhidos com base em instrumentos com escalas, indicadores e descritores fornecidos pelo quadro teórico ou pelos dados empíricos (ver modelos de análise, previamente apresentados).

Numa segunda fase, os dados para a caracterização das práticas pedagógicas foram obtidos a partir de uma observação estruturada e não participante e também com base em instrumentos de análise. As práticas pedagógicas das professoras participantes no estudo foram caracterizadas tendo em conta as dimensões relacionadas com *o que* e com *o como* se ensina e se avalia quanto ao trabalho prático no ensino das ciências, que também foram analisadas nos documentos oficiais. Na caracterização das práticas pedagógicas foi ainda considerada outra relação entre discursos, a relação entre discurso vertical e discurso horizontal, ou seja, a relação entre o discurso académico e o discurso do dia a dia.

Para a obtenção de dados para a análise das práticas de professoras de Biologia e Geologia sobre trabalho prático foi constituída uma amostra por conveniência (Cohen, Manion & Marrison, 2007). Considerando alguns critérios a que as escolas deveriam atender, os professores foram selecionados de entre aqueles que se mostraram disponíveis e acessíveis na altura do estudo. Nessa amostra pretendeu-se selecionar duas escolas localizadas na NUT do Oeste e duas escolas localizadas na NUT da Grande Lisboa. Em cada NUT pretendeu-se ainda que as escolas estivessem diferentemente posicionadas nos *rankings* nacionais.

Nesta investigação participaram, assim, quatro professoras da disciplina de Biologia e Geologia de quatro turmas do 10.º ano de escolaridade do curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologias. Cada uma destas

[4] As fichas de avaliação externa estão, atualmente, disponíveis para consulta em <http://bi.iave.pt/exames/>.

turmas pertencia a uma escola diferente (Figura 2.6.). Das quatro professoras, a professora Vera[5] da escola Pasteur tinha um percurso profissional distinto das restantes professoras. Era a única licenciada em ensino da Biologia e mestre em Didática das Ciências.

As escolas Darwin e Pasteur foram classificadas nos níveis mais elevados dos *rankings* nacionais, com resultados sempre acima da média nacional nos três anos considerados. Eram as que possuíam uma menor quantidade de alunos com auxílio social. Os alunos das turmas destas professoras também eram os que pertenciam a setores de classe mais dotados de capitais económicos, culturais, escolares e/ou sociais (de acordo com um questionário aplicado aos alunos de cada turma sobre as habilitações académicas e situações profissionais dos seus pais ou representantes). Pelo contrário, as escolas Mendel e Fleming foram classificadas nos níveis mais baixos dos *rankings* nacionais, com resultados abaixo da média nacional. Nestas escolas cerca de 40% dos alunos beneficiavam de apoio social escolar. Além disso, os alunos das turmas do estudo pertenciam a setores de classe menos dotados de recursos.

De seguida, apresentam-se alguns dos resultados da análise dos documentos oficiais e das práticas pedagógicas. Esses resultados focam-se nas seguintes dimensões: complexidade dos conhecimentos científicos e das capacidades cognitivas, relação entre teoria e prática e relação entre diferentes atividades práticas.

[5] Todos os nomes utilizados (escolas e professores) são fictícios, de modo a manter o anonimato de todos os intervenientes.

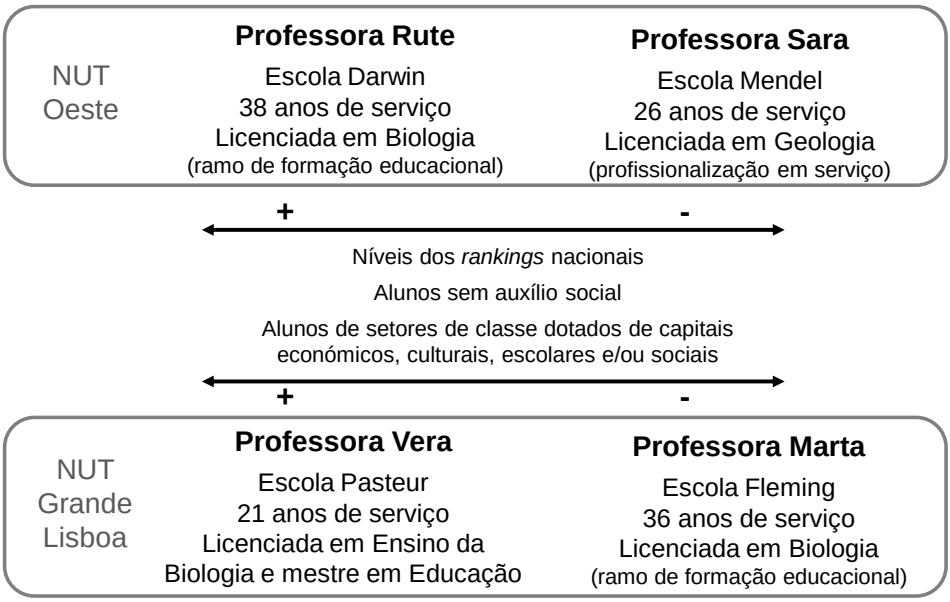


Figura 2.6. Caracterização dos sujeitos do estudo (adaptado de Ferreira, 2014).

Alguns resultados da investigação

Análise do trabalho prático nos documentos oficiais. Relativamente a alguns dos resultados da investigação, o gráfico da Figura 2.7. evidencia os resultados relativos à complexidade dos conhecimentos científicos do trabalho prático no currículo da disciplina de Biologia e Geologia considerado no seu todo e em cada uma das suas partes e nas fichas de avaliação externa.

Salienta-se que os resultados e a análise dos documentos curriculares estão organizados de acordo com as orientações gerais (OrG) e orientações específicas (OrE) do currículo da disciplina de Biologia e Geologia como um todo e quando as seis partes do currículo são consideradas: parte geral da Biologia (Bg), Biologia do 10.º ano (B10), Biologia do 11.º ano (B11), parte geral da Geologia (Gg), Geologia do 10.º ano (G10) e Geologia do 11.º ano (G11). Os resultados relativos às orientações gerais advêm do agrupamento dos resultados de ambas as partes gerais do currículo (Bg e

Gg) e os resultados relativos às orientações específicas resultam da junção dos resultados das quatro partes específicas do currículo (B10, B11, G10 e G11). Relativamente à análise das fichas de avaliação externa, a apresentação e a discussão dos resultados têm em consideração as duas modalidades de fichas de avaliação externa produzidas, à época do estudo, pelo GAVE para esta disciplina: exames nacionais (EN) e testes intermédios (TI).

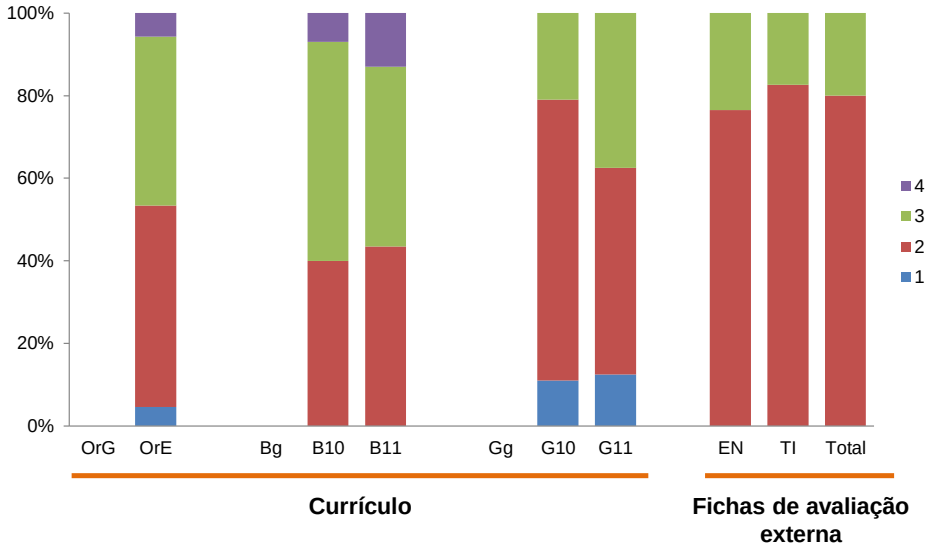


Figura 2.7. Complexidade dos conhecimentos científicos do trabalho prático no currículo de Biologia e Geologia, considerado no seu todo e em cada uma das suas partes, e nas fichas de avaliação externa (adaptado de Ferreira & Morais, 2014a, 2014b).

No currículo verificou-se que, nas unidades de análise com referência a trabalho prático, as orientações gerais não faziam referência ao conhecimento científico a ser objeto de transmissão/aquisição e de avaliação no trabalho prático. Quando o currículo foi considerado no seu todo, os resultados das orientações específicas evidenciaram a presença dos quatro graus de complexidade do conhecimento científico,

prevalecendo os graus 2 e 3, relativos a conceitos simples e a conceitos complexos, respetivamente.

Comparando a componente de Biologia com a componente de Geologia, é possível constatar que o conhecimento científico do trabalho prático em Biologia era mais complexo que o conhecimento científico em Geologia, nos dois anos de escolaridade. A maior complexidade do conhecimento do trabalho prático em Biologia deveu-se ao seu foco na teoria celular e na teoria de evolução. Considera-se que a situação que melhor representa uma aprendizagem científica significativa quando se implementa trabalho prático é aquela que está mais próxima da componente de Biologia, onde se pressupõe a apreensão de temas unificadores pela compreensão de conhecimentos complexos e de conhecimentos simples, havendo um equilíbrio no grau de complexidade dos conhecimentos científicos.

Nas fichas de avaliação externa, os dados mostram que as questões de trabalho prático (e é importante salientar que apenas essas foram analisadas) de ambas as modalidades de fichas de avaliação externa avaliavam conhecimento científico maioritariamente de grau 2, correspondente a conceitos simples. Verifica-se, assim, uma diminuição da complexidade dos conhecimentos científicos do trabalho prático quando se passa do currículo para as fichas de avaliação externa. Há, assim, uma inconsistência entre a mensagem do currículo e a mensagem das fichas de avaliação externa quanto ao trabalho prático.

Quanto à complexidade das capacidades cognitivas do trabalho prático no currículo, o gráfico da Figura 2.8. evidencia que nas orientações gerais prevaleceram capacidades cognitivas complexas associadas ao trabalho prático, ou seja, prevaleceram capacidades de processos científicos complexas. Considerando as orientações específicas e quando o currículo foi considerado no seu todo, a maior parte dos excertos continham capacidades cognitivas complexas (graus 3 ou 4), correspondendo aos processos cognitivos de análise e de utilização do conhecimento.

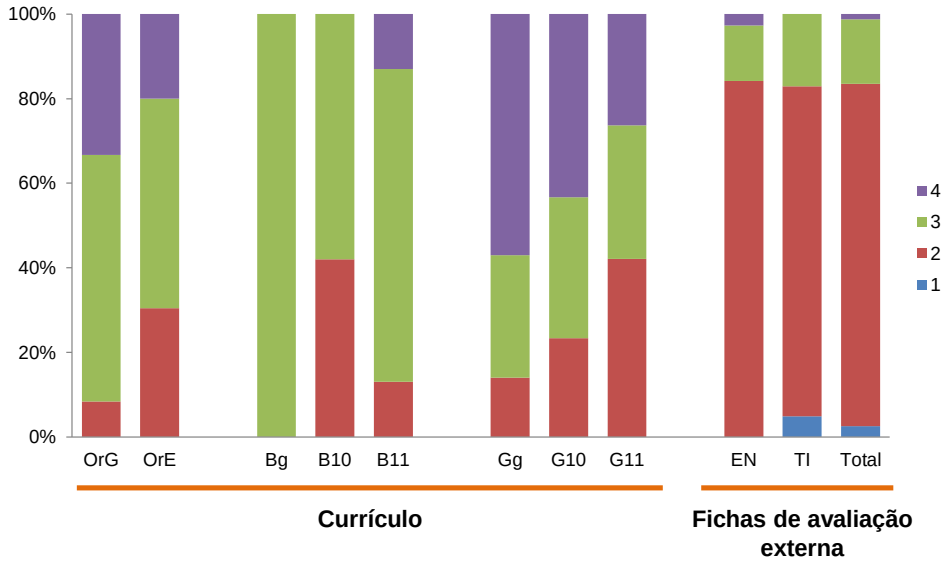


Figura 2.8. Complexidade das capacidades cognitivas do trabalho prático no currículo de Biologia e Geologia, considerado no seu todo e em cada uma das suas partes, e nas fichas de avaliação externa (adaptado de Ferreira & Morais, 2014a, 2014b).

Comparando as componentes de Biologia e de Geologia, o gráfico mostra que a maior complexidade das capacidades cognitivas predominou em Geologia, evidenciada pela frequência de unidades classificadas com o grau 4. A elevada complexidade das capacidades cognitivas em Geologia esteve particularmente relacionada com a presença no currículo das seguintes capacidades: formulação de hipóteses, tomada de decisões, construção de modelos, pesquisa, organização e tratamento de informação. Neste caso, considera-se que a situação que melhor representa uma aprendizagem científica significativa quando se implementa trabalho prático é aquela que está mais próxima da componente de Geologia, onde se pressupõe que exista um equilíbrio no desenvolvimento de capacidades cognitivas complexas e de capacidades simples no ensino das ciências, apesar de estar ausente a importante capacidade de memorização.

Relativamente às fichas de avaliação externa, os resultados expressos no gráfico evidenciam que, em ambas as fichas de avaliação externa, as

questões de trabalho prático avaliavam capacidades cognitivas que implicavam, sobretudo, o processo cognitivo de compreensão (grau 2). Deste modo, à semelhança da complexidade dos conhecimentos científicos, também aqui se verifica uma diminuição da complexidade das capacidades cognitivas do trabalho prático quando se passa do currículo para as fichas de avaliação externa.

No que concerne aos resultados da relação entre teoria e prática, quando se consideram apenas as unidades de análise com referência a trabalho prático[6], o gráfico da Figura 2.9. mostra que a mensagem das orientações gerais do currículo parece valorizar a relação entre teoria e prática (graus 3 e 4). Nas orientações específicas, essa valorização é ainda maior.

Comparando as componentes de Biologia e de Geologia, os dados do gráfico evidenciam que em todas as partes da componente de Geologia prevaleceu o grau 4, ou seja, a maior parte das unidades sugeriram uma relação entre conhecimento declarativo e conhecimento processual, tendo a teoria e a prática igual estatuto. Na componente de Biologia, nomeadamente nos 10.º e 11.º anos, a maioria dos excertos foi classificada com o grau 3, isto é, os excertos refletiam uma relação entre os dois tipos de conhecimento, centrando-se no conhecimento declarativo. Neste estudo, considerou-se que a situação desejável para a ocorrência de relações intradisciplinares entre conhecimento declarativo e conhecimento processual é aquela em que há um predomínio das relações entre estes dois tipos de conhecimento, sendo conferido ao conhecimento declarativo maior estatuto nessa relação (grau 3). Na sua globalidade, a componente de Biologia do 10.º e 11.º anos está mais próxima desta situação. Considera-se que esta situação é aquela que melhor representa uma aprendizagem científica significativa consolidada pela compreensão e aplicação de conhecimentos de processos científicos.

[6] No estudo de Ferreira (2014), o conjunto de unidades de análise sem referência a trabalho prático também foi avaliado para as diferentes dimensões de análise.

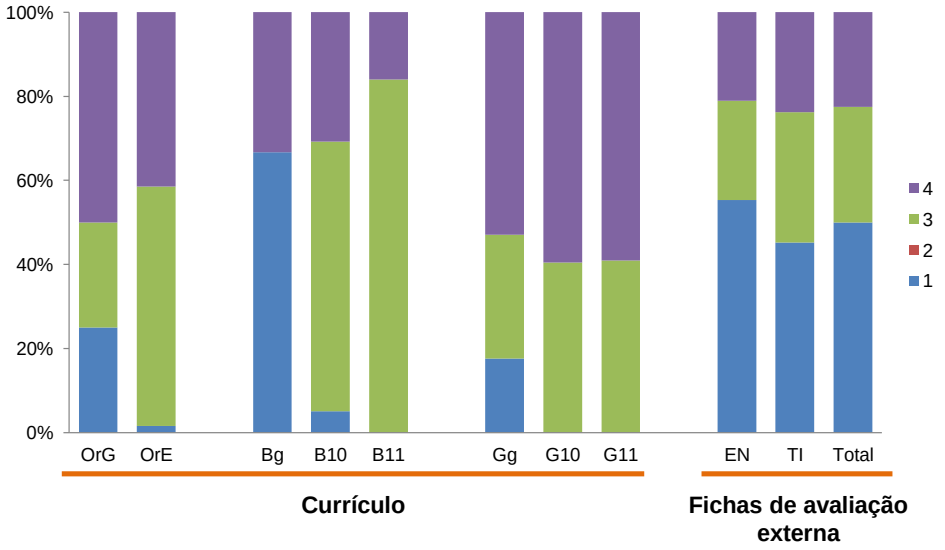


Figura 2.9. Relação entre teoria e prática no currículo de Biologia e Geologia, considerado no seu todo e em cada uma das suas partes, e nas fichas de avaliação externa (adaptado de Ferreira & Morais, 2014a, 2014b).

Em relação às fichas de avaliação externa, os resultados da análise mostram que nos exames nacionais predominaram as questões de trabalho prático classificadas com o grau 1 (55%). Este grau continuou a ter uma grande ênfase nos testes intermédios (45%). Essa classificação referiu-se à segunda parte do descritor, ou seja, a questões que contemplavam apenas conhecimento processual. Por exemplo, nas questões em que se avalia o conhecimento relativo à interpretação de dados em tabelas de uma determinada investigação sem o relacionar com conhecimento declarativo. Verifica-se, assim, uma desvalorização desta relação quando se passa do currículo de Biologia e Geologia para as fichas de avaliação externa.

Quanto aos resultados da relação entre diferentes atividades práticas, salienta-se que essa análise não decorreu ao nível das fichas de avaliação externa, uma vez que, nesse contexto, não se esperava que fosse estabelecida uma relação entre o conhecimento mobilizado em diferentes atividades práticas. Os dados do gráfico da Figura 2.10. mostram que nas

orientações específicas do currículo sobressai a ausência de relações entre diferentes atividades práticas (grau 1).

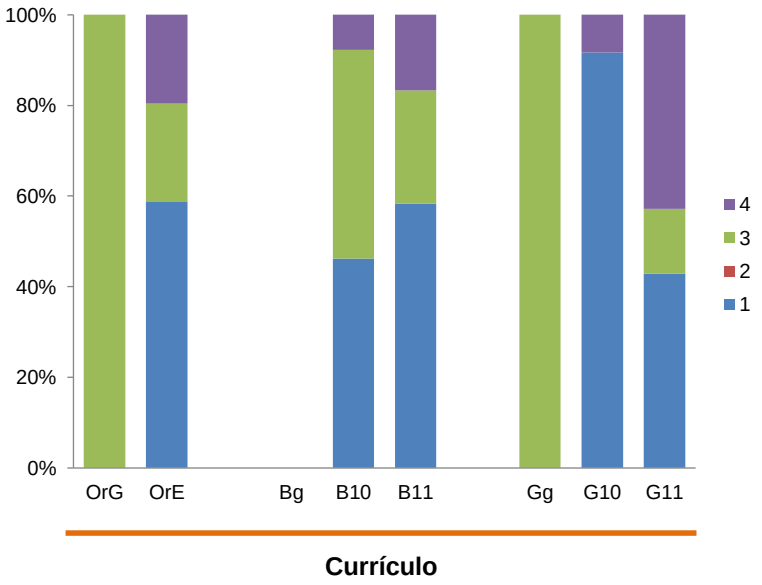


Figura 2.10. Relação entre diferentes atividades práticas no currículo de Biologia e Geologia, considerado no seu todo e em cada uma das suas partes (adaptado de Ferreira, 2014).

Em ambas as componentes do currículo, quer no programa do 10.º ano quer no programa do 11.º ano, sobressai a ausência de relações entre diferentes atividades práticas (grau 1), sobretudo na componente de Geologia do 10.º ano. No entanto, em Biologia do 10.º ano e em Geologia do 11.º ano há a destacar a elevada frequência de unidades de análise que exprimiam uma relação entre o conhecimento científico a mobilizar numa determinada atividade prática e o conhecimento científico já explorado em outras atividades práticas (graus 3 e 4).

Relativamente às orientações gerais, representadas apenas pela parte geral da Geologia, verificou-se que a sua mensagem parece valorizar a relação

entre diferentes atividades práticas (grau 3). Contudo, este aspeto teve pouco significado porque apenas se encontrou uma unidade de análise das orientações gerais do currículo passível de ser analisada quanto a esta dimensão.

Análise do trabalho prático nas práticas pedagógicas. A Tabela 2.18. apresenta a síntese da caracterização das práticas pedagógicas de cada uma das professoras quanto às dimensões que permitiram apreciar o nível de exigência conceptual do trabalho prático. Pode verificar-se, pelos graus expressos na tabela, que nenhuma das quatro práticas pedagógicas evidenciou um elevado nível de exigência conceptual do trabalho prático para o conjunto das diferentes dimensões de *o que* e de *o como* consideradas no estudo, nem no contexto de transmissão/aquisição nem no contexto de avaliação.

A maior complexidade conceptual do trabalho prático prevaleceu, no entanto, nas práticas das professoras Rute e Vera, sobretudo no contexto de transmissão/aquisição. Estas eram as professoras das escolas classificadas nos níveis mais elevados dos *rankings* nacionais e cujos alunos pertenciam a setores sociais mais providos de recursos. No caso da professora Vera, destaca-se a maior complexidade das capacidades cognitivas mobilizadas na realização do trabalho prático (graus 2 e 3 relativos aos processos cognitivos de compreensão e de análise). No caso da professora Rute, destaca-se o estabelecimento de uma maior relação entre teoria e prática, nos casos em que a teoria tem um estatuto mais elevado que a prática (grau 3).

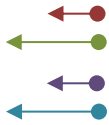
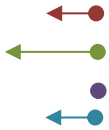
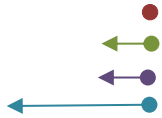
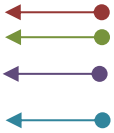
Tabela 2.18.
Comparação das práticas pedagógicas quanto ao nível de exigência conceptual do trabalho prático.

Dimensões de análise		Contexto de transmissão/aquisição		Contexto de avaliação do trabalho prático
		Componente teórica	Componente prática	
O Que	Conhecimentos científicos	- -*	**Grau 2** **Grau 1/ Grau 2** **Grau 2** **Grau 1/ Grau 2**	**Grau 2** **Grau 2** **Grau 2** **Grau 2**
	Capacidades cognitivas	- -*	**Grau 2** **Grau 1/ Grau 2** **Grau 2 / Grau 3** **Grau 2**	**Grau 1/ Grau 2** **Grau 2** **Grau 2** **Grau 2**
O Como Relação entre discursos	Relação entre teoria e prática	C^{++} C^{++} C^{++} C^{++}	C^{-} C^{+} / C^{-} C^{+} / C^{-} C^{++} / C^{+}	C^{-} C^{-} C^{-} C^{+}
	Relação entre diferentes atividades práticas	- -*	C^{++} C^{++} C^{++} C^{++}	- -*

Notas. A vermelho, caracterização da prática da professora Rute. A verde, da professora Sara. A roxo, da professora Vera. A azul, da professora Marta. *A dimensão não foi analisada nesse contexto. Adaptado de Ferreira (2014).

Recontextualização do discurso pedagógico oficial nas práticas pedagógicas. Para analisar a recontextualização do discurso pedagógico oficial (DPO) na prática pedagógica das quatro professoras, procedeu-se à comparação da mensagem veiculada nos documentos oficiais, nomeadamente no currículo e nas fichas de avaliação externa, com a mensagem expressa na prática das professoras. A Tabela 2.19. pretende ilustrar essa recontextualização feita por cada uma das professoras e para cada uma das dimensões de análise.

Tabela 2.19.
Extensão e sentido de recontextualização do DPO nas práticas pedagógicas quanto ao nível de exigência conceptual do trabalho prático.

Dimensões de análise		Contexto de transmissão/ aquisição da componente prática				Contexto de avaliação do trabalho prático			
		G1	**G2**	**G3**	**G4**	**G1**	**G2**	**G3**	**G4**
O Que	Conhecimentos científicos								
	Capacidades cognitivas								
O Como	Relação entre teoria e prática								
	Relação entre diferentes atividades práticas						- - *		

Notas. Professora Rute. Professora Sara. Professora Vera. Professora Marta. *A dimensão não foi analisada nesse contexto. Adaptado de Ferreira (2014).

Salienta-se que os pontos, no contexto de transmissão/aquisição da componente prática, evidenciam a tendência da mensagem veiculada pelo currículo de Biologia e Geologia, mais especificamente pela parte geral de Biologia e pela Biologia do 10.º ano de escolaridade, dado que as práticas das professoras estiveram centradas em unidades temáticas de Biologia do 10.º ano. Os pontos no contexto de avaliação do trabalho prático mostram a tendência da mensagem veiculada nas fichas de avaliação externa. Por sua vez, cada uma das setas indica o sentido e a extensão da recontextualização do DPO nas práticas pedagógicas.

Os dados da Tabela 2.19. mostram que as professoras recontextualizaram o DPO expresso nos documentos oficiais, mas com sentidos e extensões

diferentes e dependente da dimensão considerada. Verifica-se que, no contexto de transmissão/aquisição da componente prática, as professoras tenderam a recontextualizar a mensagem da componente de Biologia do programa do 10.º ano no sentido de diminuírem o seu nível de exigência conceptual, mas com extensões diferentes. Na globalidade das dimensões consideradas, foram as práticas das professoras Sara e Marta, cujos alunos tinham acesso a menos recursos económicos e/ou culturais, que assumiram as recontextualizações mais extensas.

No contexto de avaliação do trabalho prático, as professoras tenderam a seguir a mensagem das fichas de avaliação externa, sobretudo ao nível da complexidade dos conhecimentos científicos e das capacidades cognitivas. Nesse contexto, a recontextualização ocorreu na relação entre teoria e prática, com sentidos diferentes. Como os exames e o currículo não eram coerentes em termos da mensagem que veiculavam quanto ao trabalho prático, os professores tenderam a centrar-se sobretudo no que foi avaliado nos exames em detrimento do que estava expresso no currículo (Britton & Schneider, 2007).

Considerações finais

O currículo de Biologia e Geologia, considerado no seu todo, evidenciou um nível de exigência conceptual do trabalho prático relativamente elevado quanto ao contexto de transmissão/aquisição. Contudo, quando as componentes de Biologia e de Geologia foram analisadas de forma separada, constatou-se que a componente de Biologia apresentou um nível mais elevado de exigência conceptual do que a componente de Geologia. No caso da avaliação externa, o nível de exigência conceptual do trabalho prático é menor que o do currículo, relativamente à componente de Biologia (a mais valorizada na avaliação externa). Verificou-se, assim, a ocorrência de descontinuidades entre a mensagem das diferentes partes do currículo e entre essa mensagem e a mensagem das fichas de avaliação externa quanto ao trabalho prático. Estas conclusões foram baseadas na análise do nível de exigência conceptual do trabalho prático, tomado em função da complexidade dos conhecimentos científicos e das capacidades

cognitivas e da relação entre teoria e prática e entre diferentes atividades práticas.

Os resultados do estudo também mostraram que os documentos oficiais, nomeadamente as orientações específicas dos programas e as fichas de avaliação externa, atribuem pouca ênfase ao trabalho prático. Estes resultados contrariam as orientações gerais do Ministério da Educação expressas, por exemplo, nas orientações gerais do currículo e no normativo legal que atribuiu um peso mínimo de 30% à avaliação da componente prática (Portaria n.º 1322/2007).

Ao nível das práticas pedagógicas, observadas em unidades temáticas de Biologia do 10.º ano, verificou-se que nenhuma das práticas evidenciou um elevado nível de exigência conceptual do trabalho prático, nem no contexto de transmissão/aquisição nem no contexto de avaliação. Essas práticas tenderam a aproximar-se do nível de exigência expresso nas fichas de avaliação externa. Foi, assim, a avaliação externa que determinou as regras do que foi valorizado quanto ao nível de exigência conceptual do trabalho prático nas práticas dos professores. Deste modo, os resultados do presente estudo apontam para a necessidade de repensar a avaliação externa de Biologia e Geologia de modo a haver uma coerência horizontal entre o currículo, a prática pedagógica e a avaliação. Tal como referem Wilson e Bertenthal (2006), "para desempenhar bem a sua função, a avaliação deve estar fortemente ligada ao currículo e à instrução para que os três elementos estejam direcionados para os mesmos objetivos" (p. 4).

Os resultados deste estudo também apontam para o facto das professoras das escolas classificadas nos níveis mais baixos dos *rankings* nacionais e cujos alunos pertenciam a setores sociais menos providos de recursos apresentarem práticas que se caracterizaram pelos níveis mais baixos de exigência conceptual. Os alunos dessas escolas ficaram assim ainda mais desfavorecidos ao nível da sua educação científica. Deste modo, o contexto social da turma parece influenciar a prática pedagógica, levando a que os professores diminuam ou aumentem o nível de exigência

conceptual do trabalho prático, para se adaptarem ao que julgam ser as capacidades de aprendizagem dos alunos.

As conclusões deste estudo, que vêm apoiar resultados de estudos anteriores (ex., Domingos, 1987; Silva, Morais & Neves, 2014), em outros contextos que não apenas o do trabalho prático, revestem-se de especial importância se se pretender que todos os alunos alcancem um elevado nível de literacia científica. A comunidade educativa deve ser sensibilizada para uma mudança consciente das suas teorias e práticas.

Referências

Abrahams, I, & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, *30*(14), 1945-1969.

Afonso, M. (2008). A educação científica no 1.º Ciclo do Ensino Básico: Das teorias às práticas. Porto: Porto Editora.

Afonso, M., Alveirinho, D., Tomás, H., Calado, S., Ferreira, S., Silva, P., & Alves, V. (2013). *Que ciência se aprende na escola? Uma avaliação do grau de exigência no ensino básico em Portugal.* Lisboa: Fundação Francisco Manuel dos Santos.

Anderson, L. W., Krathwohl, D. (Eds.), Airasian, P., Cruikshank, K., Mayer, R., Pintrich, P., Raths, J., & Wittrock, M. (2001). *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives.* New York: Longman.

Bell, L., Smetana, L., & Binns, I. (2005). Simplifying inquiry instruction: Assessing the inquiry level of classroom activities. *The Science Teacher, 72*(7), 30–33.

Bernstein, B. (1990). *Class, codes and control: Vol. IV, The structuring of pedagogic discourse.* Londres: Routledge.

Bernstein, B. (2000). *Pedagogy, symbolic control and identity: Theory, research, critique* (Revised edition). Nova Iorque: Rowman & Littlefield.

Britton, E. D., & Schneider, S. A. (2007). Large-scale assessments in science education. In N. Lederman & S. Abel (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 1007-1040). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Bruner, J. (1963). *The process of education. New York: Vintage Books.*

BSCS (Biological Sciences Curriculum Studies) (2003). *Biology: A human approach teacher's handbook* (2ª ed.). Dubuque, Iowa: Kendall.

BSCS (Biological Sciences Curriculum Studies) (2009). *The Biology teacher's handbook* (4ª ed.). Arlington, VA: NSTA Press.

Chiappetta, E. (1997). Inquiry-based science: Strategies and techniques for encouraging inquiry in the classroom. *Science Teacher, 64*(7), 22-26.

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education* (6ª ed.). Oxford, UK: Routledge.

DEB (Departamento do Ensino Básico). (2004). *Organização Curricular e Programas Ensino Básico — 1.º Ciclo* (4ª ed.). Lisboa: Ministério da Educação.

DES (Departamento do Ensino Secundário). (2001). *Programa de Biologia e Geologia – 10.º ou 11.º anos*. Lisboa: Ministério da Educação.

DES (Departamento do Ensino Secundário). (2003). *Programa de Biologia e Geologia – 11.º ou 12.º anos*. Lisboa: Ministério da Educação.

Domingos, A. M. (presentemente Morais) (1987). Influência da classe social no nível de desenvolvimento científico dos alunos. *Revista de Educação, 1*(2), 55-63.

Duschl, R., Schweingruber, H., & Shouse, A. (Ed.) (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grade K-8*. Washington: National Academies Press.

Ferreira, S. (2014). *Trabalho prático em Biologia e Geologia no ensino secundário: Estudo dos documentos oficiais e suas recontextualizações nas práticas dos professores*. Tese de doutoramento. Instituto de Educação da Universidade de Lisboa.

Ferreira, S., & Morais, A. M. (2014a). A exigência conceptual em currículos de ciências: Estudo do trabalho prático em Biologia e Geologia do ensino secundário. In A. M. Morais, I. P. Neves & S. Ferreira (Eds.), *Currículos, manuais escolares e práticas pedagógicas: Estudo de processos de estabilidade e de mudança no sistema educativo* (pp. 131-157). Lisboa: Edições Sílabo.

Ferreira, S., & Morais, A. M. (2014b). Currículo e exames nacionais: Estudo da exigência conceptual do trabalho prático em Biologia e Geologia do ensino secundário. In A. M. Morais, I. P. Neves & S. Ferreira (Eds.), *Currículos, manuais escolares e práticas pedagógicas: Estudo de processos de estabilidade e de mudança no sistema educativo* (pp. 265-284). Lisboa: Edições Sílabo.

Gil-Pérez, D., Guisasola, J., Moreno, A., Cachapuz, A., Carvalho, A., Torregrosa, J., Salinas, J., Valdés, P., González, E., Duch, A., Carré, A., Tricárico, H., & Gallego, R. (2002). Defending constructivism in science education. *Science & Education, 11*(6), 557-571.

Harlen, W. (1993). *Teaching and learning primary science*. Londres: Paul Chapman.

Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review, 71*(256), 33-40.

Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education, 22*(1), 85-142.

Hofstein, A., & Lunetta, V. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty first century. *Science Education, 88*(1), 28-54.

Ketelhut, D., Nelson, B., Clarke, J., & Dede,C. (2010). A multi-user virtual environment for building and assessing higher order inquiry skills in science. *British Journal of Educational Technology, 41*(1), 56-68.

Leite, L. (2001). Contributos para uma utilização mais fundamentada do trabalho laboratorial no ensino das ciências. In H. V. Caetano & M. G. Santos (Orgs.), *Cadernos Didácticos de Ciências – Volume 1* (pp. 77-96). Lisboa: Ministério da Educação.

Leite, L., & Dourado, L. (2013). Laboratory activities, science education and problem-solving skills. *Procedia – Social and behavioral sciences, 106*, 1677-1686.

Lunetta, V., Hofstein, A. & Clough, M. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory, and practice. In N. Lederman & S. Abel (Eds,), *Handbook of research on science education* (pp. 393-441). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Millar, R. (2004, Junho). *The role of practical work in the teaching and learning of science*. Comunicação apresentada no Encontro High School Science Laboratories: Role and Vision, National Academy of Sciences, Washington, DC.

Millar, R. (2010). Practical work. In J. Osborne & J. Dillon (Eds.), *Good practice in science teaching: What research has to say* (2ª ed.) (pp. 108-134). Berkshire, UK: Open University Press.

Millar, R., Maréchal, J., & Tiberghien, A. (1999). Maping the domain – varieties of practical work. In J. Leach & A. Paulsen (Eds.), *Practical work in science education* (pp. 33-59). Denmark: Roskilde University Press.

Millar, R., Tiberghien, A., & Maréchal, J. (2002). Varieties of labwork: A way of profiling labwork tasks. In D. Psillos & H. Niedderer (Eds.), *Teaching and learning in the science laboratory* (pp. 9-20). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Morais, A., & Neves, I. (2012). Estruturas de conhecimento e exigência conceptual na educação em ciências. *Revista Educação, Sociedade & Culturas*, 37, 63-88.

NRC (National Research Council). (1996). *National Science Education Standards: observe, interact, change, learn*. Washington, DC: National Academy Press.

NRC (National Research Council). (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academy Press.

Portaria n.º 1322/2007, de 4 de outubro, Ministério da Educação. Diário da República, 1ª série, *192*, 7107-7123.

Roberts, R., Gott, R., & Glaesser, J. (2010). Students' approaches to open-ended science investigation: The importance of substantive and procedural understanding. *Research Papers in Education*, *25*(4), 377-407.

Rodrigues, A., Pereira, C., Borges, I., & Azevedo, L. (2009). *Pasta mágica – Estudo do meio 3, 3.º ano*. Porto: Areal Editores.

Silva, A., Mesquita, A., Gramaxo, F., Santos, M., Baldaia, L., & Félix, J. (2007). *Terra, Universo de Vida – Biologia – 10.º ano*. Porto: Porto Editora.

Silva, P., Morais, A. M., & Neves, I. P. (2014). Materiais curriculares, práticas e aprendizagens: Estudo do contexto das ciências do 1.º ciclo do ensino básico. In A. M. Morais, I. P. Neves & S. Ferreira (Eds.), *Currículos, manuais escolares e práticas pedagógicas: Estudo de processos de estabilidade e de mudança no sistema educativo* (pp. 183-212). Lisboa: Edições Sílabo.

Wellington, J., & Ireson, G. (2008). *Science learning, science teaching*. London: Routledge.

Wilson, M., & Bertenthal, M. (Eds.) (2006). *Systems for state science assessment*. Washington, DC: National Academies Press.

Woolnough, B., & Allsop, T. (1985). *Practical work in science*. Cambridge: Cambridge University Press.

PARTE III

CONSTRUÇÃO DA CIÊNCIA E LITERACIA CIENTÍFICA

NATURALIZING THE NATURE OF SCIENCE FOR SCHOOL SCIENCE

Richard A. Duschl[1]

The evolving relationship between epistemology and cognitive science during the 20th century has led to the emergence of the naturalized view of the philosophy of science. The trajectory of philosophy of science during the latter half of the 20th century was away from a formal logic and language based orientation toward a naturalized philosophy grounded in epistemology and cognitive psychology. This paper focuses on two complementary developments: 1) the mid-20th century historical turn advancing the image of science as grounded in theory-building/refining practices building to 2) the contemporary cognitive turn image of science as grounded in mechanism and modeling practices. The seven Tenets of the Nature of Science (NOS) are be presented as a framework for examining the transition from the 'Traditional NOS' view of logical positivism to the 'Naturalized' view of NOS. The shift has implications for how we measure NOS and what we consider to be NOS learning goals.

An issue we need to contend with in science education is recognizing that the nature of scientific inquiry is a moving target. At the end of the 19th century, natural scientists and philosophers of science raised serious questions regarding the extent to which the claims of science were objective and rational. Grand theorizing taking place at the time was challenging the early Baconian traditions of science, traditions that laid the groundwork for British empiricism. Logical positivism and logical empiricism were philosophical agendas that set out to explain or provide an objective and rational accounting of scientific practices. Key to this account was the imperative that all theory statements must have a strong correspondence with observation statements. The focus of science was on the establishment of causal mechanisms. The dominant practice of science

[1] The Pennsylvania State University, USA (see biographical notes).

then was the design of experiments that linked theory to observation and, in turn, afforded opportunities to make causal claims.

As historical and philosophical studies have moved beyond physics during the 1950s to include biology, chemistry, and earth science, the important epistemic role models have in building and refining knowledge has risen. Commitments to causal reduction-based analyses are being challenged by systems and model-based images of science. A fundamental consideration is the influential role investigative and communicative tools and technologies (e.g., the historical material and social environment of science) have on studying complexity and on the growth of knowledge. The position taken here is that methodological changes in scientific practices are an important but oft ignored dynamic in conceptual change theory driven images of science and science education. New measurements and new evidence have driven the formulation of scientific practices and explanatory models and mechanisms. The implication for science education is that didactical models for designing teaching sequences and learning progressions need to consider how science learning goals play out as a three part harmony attending to conceptual, epistemic and social learning goals (Duschl, 2008; Gitomer & Duschl, 2007).

Science knowledge building practices have and will continue to evolve as scientists, mathematicians, and engineers continue to learn how to learn. The practices of science and science education have been influenced, like all other human endeavors, by the sociocultural context within which such practices take place (Rudolph, 2005). The roots of science reach back to ancient times but these ancestral accounts of science little to explain or account for the explosion of science in the last 400 years. The practices of reasoning and the quality of reason itself were confronted by a constant barrage of tools and technologies developed in a milieu of inquiry, basic and applied, about the material world. In brief, the history of science and technology reveals how we humans have learned how to learn.

Quite naturally, concerns emerged about what scientific knowledge we could believe. The 19th century was witness to the emergence of several

unifying theories for chemistry (periodic law), physics (thermodynamics), and biology (evolution); theories or big ideas that challenged the foundations of scientific knowledge as well as the fabric of society. To this very day, we are confronted with the legacy of these scientific developments, for better or for worse. Thus, a science education based on knowing what we know is incomplete. In addition, science education ought to be grounded, too, in examination of how we have come to know and, importantly, why we believe one knowledge claim over another. Scientific inquiry in this sense is held to be a dialogic discourse.

The debate over theory justification has led to the identification of a third practice of science, a practice that stands between experiment and theory, namely modeling (Cartwright, 1983; Giere, 1988). Model-based practices in science amplify the dialogic discourse and the cognitive and social practices among scientists that affect the growth of scientific knowledge (Magnani, Nersessian & Thagard, 1999). Model-based approaches in science education have also demonstrated how facilitation of dialogic processes among students can positively affect learning (Pea, 1993; Schauble et al., 1996; Sandoval & Reiser, 2004).

NOS and science education

When and how did images about the nature of science become a targeted curriculum topic and a focused learning goal in K-16 science education? From a US perspective, the decade of interest is the 1950s. In that decade, post-war developments in science education shifted from industry efforts (e.g., General Electric, Westinghouse) to broader federal agendas with the formation of the National Science Foundation. Then, as now, the focus was on developing a competitive workforce to drive the economy but importantly it was also to win the ‘cold war’.

The catalyst for rapidly changing the face of K-12 science education in the 1950s was the US reaction to the launching of the USSR satellite Sputnik. Within one decade, 1955 to 1965, hundreds of millions of dollars were invested in the development of curriculum and facilities, employing a top-down high school first followed by middle grades and elementary grades

set of processes. Once the curricula were established, NSF funding was then directed to teacher institutes to prepare staff to teach these new inquiry-based science programs. Scholarly writings on this period of science education can be found in books by John Rudolph's *Scientists in the Classroom*, George DeBore's *The History of Science Education,* and my own *Restructuring Science Education: The Role of Theories and their Importance.*

The catalyst in post-secondary education was Harvard University and President James Conant's project to make science education for returning WWII GIs based on historical cases studies of select scientific episodes (e.g., Boyle's Laws, Newton's Laws, among others). In the 1950s and 1960s, Harvard University was the center of activity in history of science (HOS) and of the application of HOS to science education. Scholarly luminaries such as I.B. Cohen, Thomas Kuhn, Gerald Holton, Stephen Brush, James Rutherford, Fletcher Watson, Leo Klopfer and Glen Aikenhead, among others, were at Harvard. Development of the *Harvard Cases in History of Science* undergraduate curriculum involved none other that Thomas Kuhn who while working on cases in physics (e.g., Newton's Laws) began to build his ideas that led to his seminal publication – *The Structure of Scientific Revolutions.* Also emerging from this caldron of scholarly activity was the NSF-funded *Harvard Project Physics* that fused HOS into a high school physics course.

Conant's *On Understanding Science* and other of his policy books on the structure of secondary education led to the development of ideas, and subsequently practices, regarding the comprehensive high school and the importance of science and mathematics as core subjects. Scholarly writings on this period of Kuhnian historically minded philosophy of science and science education include Kuhn's *Structures* itself, the *Road to Structures* (2000) and Steve Fuller's *Thomas Kuhn: A Philosophical History of Our Times* (2000), a social epistemological deconstruction of Kuhn's time at Harvard.

Concomitant with curriculum development activities that made HOS and the nature of science (NOS) a topic of study were developments of

measurements that began the processes of making NOS a learning goal. Once again, the process begins with Harvard based scholars. Cooley and Klopfer (1964) develop the 'Test of Understanding Science' and Welch (1973) and Aikenhead (1972) development of formative evaluations and attitudes measure for *Harvard Project Physics*. Over the next three decades a wide variety of instruments were developed to assess students' understandings of and attitudes toward science as a way of knowing. Consider the 40-year evolution of NSTA Position Statements on Nature of Science, Nature of Inquiry and Images of Child Development as changes in theories of learning, images of science, and images of inquiry took hold.

In the US, the watershed event was the publication of the AAAS Benchmarks of Science Education and of the NRC National Standards in Science Education. Each but in very different ways incorporates HOS and NOS into their frameworks for the design of State science standards. Thus, reinforcing the need for measures of learning to guide learning and instruction and thereby fixing views about the nature of science and the nature of inquiry. Different research groups conducted thoughtful and thorough scholarship. A feature or common denominator of this research was establishing a set of topics, themes, or views that would inform and guide the assessment of student learning and the design of curriculum.

Demarcation and the path to naturalized philosophy of science

The parade of science over the last 300 years has been dynamic, to say the least. New tools, technologies and theories have shaped science pathways first in physics and chemistry for the early paradigmatic sciences; in population biology through Darwinian Evolution, the Great Synthesis and on to molecular biology and medical sciences; in quantum mechanics; in material, communication and information sciences; in geosciences and Earth systems sciences; in neurosciences and brain sciences, to name but a few. Advancements in science over the centuries have spawned multiple philosophical perspectives to account for the thinking and growth of knowledge therein. Over the last 100 years there are three major periods in philosophy of science:

1. The experiment-based hypothesis testing view that gave us Logical Positivism, Logical Empiricism and Deductive-nomological explanations to account for the justification of scientific knowledge claims.
2. The history-based view of theory development and conceptual change that gave us Paradigms, Research Programmes, Heuristic Principles, Scientific thema, and Research Traditions to account for the rational growth of scientific knowledge.
3. The model-based view of cognitive and social dynamics among communities of scholars that gave us social epistemology, naturalized philosophy of science, and accompanying epistemologies to account for the deepening and broadening of scientific explanations.

Across these three periods let me propose six steps that help move the conversations forward:

1. Emergence of the Social Pragmatic View of Language via accounts of the 'Causal Theory of Reference' and the failure of formal inductive syntactical structures to explain explanations.
2. Emergence of Cognitive Psychologies as the dominance of Behaviorism recedes leading to Sense Data and Theory of Mind.
3. Emergence of Philosophy of Biology to introduce evolutionary ideas about emergence and the treatment of anomalous data.
4. Emergence of History of Science and the subsequent shift from accounts of older history to accounts of newer or contemporary history to establish growth of knowledge mechanisms.
5. Emergence of 'Practices' and Epistemic Cultures – cognitive and social – as a basis interpreting the building and refining of scientific knowledge and methods.
6. Complex Systems Science (Discovery Science) and emergence.

Explicit instruction: Heuristic principles vs. models & modelling

Since the 1950s the evolution of thought regarding the nature of science has progressed through three changing images of science:

- *science as hypothesis testing*
- *science as theory change*
- *science as model building and revising*

The contemporary understanding of the nature of science holds that the majority of scientists' engagement is not individual efforts toward final theory acceptance, but communities of scientists striving for theory improvement and refinement. What occurs in science is not predominantly the context of discovery or the context of justification but the contexts of theory development, of conceptual modification. Thagard (2007) posits that explanatory coherence of scientific explanations is achieved through the complementary process in which theories broaden and deepen over time by accounting for new facts and providing explanations of why the theory works.

Developing epistemic criteria and evaluating the epistemic status of ideas are viewed as necessary elements in a conceptual ecology of science learning environments that seek to promote enculturation into scientific cultures and/or achieve NOS learning goals. The recommended shifts are:
(1) Away from a focus on the individual scientist to a focus on social groups or communities of scientists.
(2) Away from a foci on contexts of discovery and justification of conceptual claims to a foci on the development, modification and evolution of epistemic claims.
(3) Away from an exclusive focus on inquiry addressing the fit of concepts in scientific theories to a focus on the tools and technologies that give rise to new methods and practices in building and refining scientific models.
(4) Away from domain-general 'consensus view lists of NOS' to views of NOS that are situated practices associated with the broadening and deepening of the growth of scientific knowledge.

Recent research reviews of (Duschl, 2008; Duschl & Grandy, 2008; Ford & Forman, 2006; Lehrer & Schauble, 2006) and research studies on science learning (Ford, 2008; Lehrer, Schauble & Lucas, 2008; Smith, Wiser, Anderson & Krajcik, 2006) maintain that the similar broadening

and deepening practices ought to hold in science learning environments. The NRC (2007) research review on K-8 science learning recommends organizing science education – curriculum-instruction-assessment – around three important broadening and deepening epistemic and social practices:

1. Building theories and models.
2. Constructing arguments.
3. Using specialized ways of talking, writing and representing natural phenomena.

Revising views about the nature of science

Developments in scientific theory coupled with concomitant advances in material sciences, engineering and technologies have given rise to radically new ways of observing nature and engaging with phenomenon. At the beginning of the 20th century scientists were debating the existence of atoms and genes, by the end of the century they were manipulating individual atoms and engaging in genetic engineering. These developments have altered the nature of scientific inquiry and greatly complicated our images of what it means to engage in scientific inquiry and conceptual change. Where once scientific inquiry was principally the domain of unaided sense perception, today scientific inquiry is guided by highly theoretical beliefs that determine the very existence of observational events (e.g., neutrino capture experiments in the ice fields of Antarctica).

One of the important findings from the science studies literature is that not only does scientific knowledge change over time, but so, too, do the methods of inquiry and the criteria for the evaluation of knowledge change. The accretion growth model of scientific knowledge is no longer tenable. Nor is a model of the growth of knowledge that appeals to changes in theory commitments alone; e.g., conceptual change models. Changes in research programs that drive the growth of scientific knowledge also can be due to changes in methodological commitments or goal commitments (Duschl & Grandy, 2008). Science studies examining contemporary science practices recognize that both the conceptual

frameworks and the methodological practices of science have changed over time. Changes in methodology are a consequence of new tools, new technologies and new explanatory models and theories that, in turn, have shaped and will continue to shape scientific knowledge and scientific practices.

The most recent movements and the third period of 20th century philosophy of science can be seen as filling in some of the gaps left by Kuhn's undoing of the basic tenets of logical positivism. This movement:

- Emphasizes the role of models and data construction in the scientific practices of theory development.
- Sees the scientific community, and not the individual scientist alone, as an essential part of the scientific process.
- Sees the cognitive scientific processes as a distributed system that includes instruments, forms of representation, and agreed upon systems for communication and argument.

An influential perspective that has strongly influence science education thinking is Pickering's (1990) "practical realism" or interpretation of "science as practice". It offers a robust appreciation for the *complexity* of science, its "rich plurality of elements of knowledge and practice", which he has come to call the "the mangle of practice". Pickering (1990) situates the essence of scientific life in the "dynamics of practice", that is, "a complex process of reciprocal and interdependent tunings and refigurings of material procedures, interpretations and theories".

For Pickering, scientific inquiry during its planning and implementation stages is a patchy and fragmented set of processes mobilized around resources. Planning is the contingent and creative designation of goals. Implementation for Pickering (1989) has

> three elements: a 'material procedure' which involves setting up, running and monitoring an apparatus; an 'instrumental model', which conceives how the apparatus should function; and a 'phenomenal model', which endows experimental findings within meaning and significance . . . a conceptual understanding of whatever aspect of the phenomenal world is under investigation. The 'hard work' of science comes in trying to make all these work together (Zammito, 2004, pp. 226-227).

Seven revised tenets of nature of science

The contemporary understanding of the nature of science (NOS) is the recognition that most of the theory change that occurs in science is not final theory acceptance, but improvement and refinement of theories and models (Duschl & Grandy, 2008). What occurs in science is not predominantly the context of discovery or the context of justification as the logical positivists proposed, but the context of theory development, of conceptual modification.

The *seven revised tenets* of science proposed by Duschl and Grandy (2008) characterize how the initial received views of the logical positivism have been revised. Looking across the *seven revised tenets* (See Appendix A) the bold implication is the need to consider developing an enhanced notion for the scientific method. The enhanced scientific method is a view that recognizes the role of experiment and hypothesis testing but does so with a further recognition that the practices of scientific inquiry (1) have conceptual, epistemic and social dimensions and (2) are epigenetic. The expanded scientific method would be inclusive, not exclusive, of the three sequential images of the nature of science: Hypothetico-deductive experiment driven science; Conceptual Change theory driven science; Model-based driven science. The implication is that science as a practice has social and epistemological dynamics that are critical to engaging in the discourse and dialogical strategies that are at the core of what it means to being doing scientific inquiry.

The Revised NOS View stresses the dialogic and dialectical processes/practices of science and does so with respect to conceptual (theories and models) as well as methodological (tools and technologies) changes in scientific inquiry. The major points from the seven Tenets are placed in an order below that reflects the improvement and refinement practices of scientific inquiry. The major points from the seven Tenets are:

- The bulk of scientific effort is not theory discovery or theory acceptance but theory improvement and refinement.
- Research groups or disciplinary communities are the units of practice for scientific discourse.

- Scientific inquiry involves a complex set of discourse processes.
- The discourse practices of science are organized within a disciplinary matrix of shared exemplars for decisions regarding the a) values, b) instruments, c) methods, d) models, and e) evidence to adopt.
- Scientific inquiry has epistemic and social dimensions, as well as conceptual.
- Changes in scientific knowledge are not just in conceptual understandings alone; important advancements in science are also often the result of technological and methodological changes for conducting observations and measurements.
- What comes to count as an observation in science evolves with the introduction of new tools, technologies and theories.
- Theories can be understood as clusters of models where the models stand between empirical/conceptual evidence and theoretical explanations.
- Theory and model choices serve as guiding conceptions for deciding 'what counts' and are an important dynamic in scientific inquiry.
- Rubrics for a rational degree of confirmation are hopeless, dialogue over merits of alternative models and theories are essential for refining, accepting or rejecting them and are not reducible to an algorithm.

The expanded view of the NOS, then, would be inclusive, not exclusive, of the three sequential 20th century images of the nature of science:

- Hypothetico-deductive experiment driven science;
- Conceptual Change theory driven science;
- Model-based driven science.

The expanded NOS view recognizes the role of experiment and hypothesis testing in scientific inquiry, but emphasizes that the results of experiments are used to advance models and build theories. Thus, the expanded NOS view makes a further recognition that the practices of science involve important dialogic and dialectical practices that function across conceptual, epistemic and social dimensions.

The implication of focusing on scientific practices involving evidence, measurement, models and use of tools and data texts is that the language and practices of science is different from normal conventions or conceptions of language. The language of science includes mathematical, stochastic, representational and epistemological elements as well as domain-specific descriptors and forms of evidence. The challenge for science education and for assessments that guide and inform learning is one of understanding how to mediate, progress and coordinate language and knowledge acquisition in these various and typically domain-specific epistemic and social practices. The problem is principally about the curriculum and how the curriculum aligns with instruction and assessment. Assessment scholars refer to this as the coherence problem – aligning classroom formative assessments with high stakes summative assessments (Gitomer & Duschl, 2007).

Nature of science in NGSS: Planning and carrying out investigations

The US National Research Council (2007, 2012a) reports *A Framework for K-12 Education* (NRC, 2012) and *Next Generation Science Standards* (NGSS Lead States, 2013) have set a new course for U.S. science education. The *Framework* recommendations have three broad implications for science education:

1. Science education should be coordinated around three dimensions - crosscutting concepts, core ideas, and practices (see Figure 1);
2. The practices should represent both science and engineering;
3. The alignment of curriculum, instruction, and assessment should be implemented through the development of learning progressions that function across grade bands.

BOX ES.1
The Three Dimensions of the Framework

1. Scientific and Engineering Practices	**3. Disciplinary Core Ideas**
1. Asking questions (for science) and defining problems (for engineering) 2. Developing and using models 3. Planning and carrying out investigations 4. Analyzing and interpreting data 5. Using mathematics and computational thinking 6. Constructing explanations (for science) and designing solutions (for engineering) 7. Engaging in argument from evidence 8. Obtaining, evaluating, and communicating information	Physical Sciences PS 1: Matter and its interactions PS 2: Motion and stability: Forces and interactions PS 3: Energy PS 4: Waves and their applications in technologies for information transfer Life Sciences LS 1: From molecules to organisms: Structures and processes LS 2: Ecosystems: Interactions, energy, and dynamics LS 3: Heredity: Inheritance and variation of traits LS 4: Biological evolution: Unity and diversity Earth and Space Sciences ESS 1: Earth's place in the universe ESS 2: Earth's systems ESS 3: Earth and human activity Engineering, Technology, and the Applications of Science ETS 1: Engineering design ETS 2: Links among engineering, technology, science, and society
2. Crosscutting Concepts 1. Patterns 2. Cause and effect: Mechanism and explanation 3. Scale, proportion, and quantity 4. Systems and system models 5. Energy and matter: Flows, cycles, and conservation 6. Structure and function 7. Stability and change	

Figure 1. Three dimensions of the *Framework* (NRC, 2012, p. ES3*).*

Public readings and feedback of the *Framework* and draft versions of the *Next Generation Science Standards* raised concerns about the omission of Nature of Science (NOS) as a 4th Dimension. The *Framework* does contain language emphasizing the important of knowing about NOS and does so within the contexts of conceptual, procedural, and epistemic knowledge learning goals:

> Epistemic knowledge is knowledge of the constructs and values that are intrinsic to science. Students need to understand what is meant, for example, by an observation, a hypothesis, an inference, a model, a theory, or a claim and be able to distinguish among them (NRC, 2012, p. 79).

This quotation presents a series of concepts and activities important to understanding the nature of science as a complement to the practices imbedded in investigations, field studies, and experiments. Nonetheless, there are concerns and differences of opinion about how and when NOS learning goals should be 'explicitly' incorporated in K-12 science curriculum and instruction. One position advocates insertion of NOS consensus concepts into lessons by pointing out or making explicit how the activity or investigation demonstrates a NOS heuristic principle (e.g.,

scientific knowledge is tentative) (Abd-El-Khalick, 2012). An alternative position for explicit NOS instruction (Duschl & Grandy, 2013) advocates engaging learners in the enactments and practices of science that involve building and refining questions, measurements, representations, models and explanations. The remaining section presents an instructional 5D model that is situated in 'Planning and Carrying Out Investigations' and designed so as to involve learners in the 'struggle' of knowledge building in science (Duschl & Bybee, 2014).

Planning and carrying out investigations (PCOI) embraces a suite of practices that establishes science as an empirical way of knowing about the natural world. Through measurements and observations of the material world and designed world we have the opportunity to test our claims, questions, conjectures, hypotheses and models about nature, life on Earth, and the material composition and structure of matter and energy. Good science and engineering puts scientific theories and explanations and engineering designs and solutions to sever tests. Once problems have been posed, questions asked, or hypotheses stated, scientists and engineers turn to a set of investigation elements or components that typically include:

1. Deciding what and how to measure, observe and sample,
2. Developing or selecting procedures/tools to measure and collect data,
3. Documenting and systematically recording results and observations,
4. Devising representations for structuring data and patterns of observations,
5. Determining if (1) the data are good (valid and reliable) and can be used as evidence; (2) additional or new data are needed or (3) a new investigation design or set of measurements are needed.

PCOI is a complex process and frequently an iterative one, too. It takes time to sort things out. Currently, we find in many science programs, on-line websites and curricula with streamlined 'cookbook' investigations and activities for K-12 students. If students only encounter preplanned confirmatory investigations based on tried and true step-by-step procedures ensuring the anticipated outcome(s), then important and relevant cognitive and materials struggles of doing science get stripped away.

Engaging students in coming together events for considering, reviewing and critiquing the design of experiments and investigations, the data gathering and measurement plans, and the quality of data and evidence obtained are important conversations to have before, during and/or after carrying out investigations. As stated in the *Framework*, "[u]nderstanding how science functions requires a synthesis of content knowledge, procedural knowledge, and epistemic knowledge." (p. 78). Both procedural and epistemic knowledge are strongly located in Planning and Carrying Out Investigations.

Procedural knowledge as used in the *Framework* represents the suite of methods like the 5D components scientists and engineers use to ensure findings are valid and reliable. Again, scientists and engineers make many decisions to ensure that data are accurate and that the evidence obtained is valid (true measures or observations) and reliable (obtained using procedures that can be repeated). Procedures such as using control groups to test the effect of treatments, sampling procedures to make sure what you are measuring/observing is representative of the larger population, double-blind studies to eliminate any chance of bias, and establishing the precision of measurement are examples of how scientists go about studying nature.

Epistemic knowledge is knowledge of the various sets of criteria, rules and values held in the sciences and in engineering disciplines for deciding 'what counts' or 'what's best.' Examples of epistemic knowledge include deciding what is a fair test, a precise and accurate measurement, systematic observations, testable hypotheses, etc. Epistemic knowledge is more often than not developed and decided by communities and not by individuals. Scientists and engineers develop epistemic knowledge when writing papers or presenting to research groups and at conferences. Each of the 5Ds is a knowledge building component of planning and carrying out investigations and thus epistemic knowledge.

Considering the 5D components listed above, PCOI lesson sequences may stress one or more of these elements. Engaging students with inventing measures or selecting measures from a set of options opens up important

dynamics about the nature of scientific inquiry. So, too, does allowing students to invent and discuss representations or choose among options for graphically presenting results enhance scientific inquiry learning experiences.

Over the years, engagements with PCOI elements should lead students to broaden and deepen the complexity of investigations in terms of the questions and problems being posed and the measures and methods being employed. The *Framework's* intent is to avoid students only doing investigations that present science knowledge and inquiry in ways that lead students to see scientific knowledge as non-problematic. Non-problematic in the sense that science is seen as a straight forward path where there is no struggle to obtain the knowledge or conduct the test. Carey and Smith (1993) have done research examining K-16 students' images of science. They have been able to assign students to one of three levels on their images about the nature of science (Smith, Maclin, Houghton & Hennessey, 2000):

Level 1 (Knowledge unproblematic) students view scientific knowledge as a collection of true beliefs about how to do something correctly or as basic facts. Scientific knowledge accumulates piecemeal through telling and observation which is certain and true.

Level 2 (Transition) students view science knowledge as a set of tested ideas. Notions of explanation and testing hypotheses appear at this level. Here students view science as figuring out how and why things work and absolute knowledge comes about through diligence and effort.

Level 3 (Knowledge problematic) students see scientific knowledge consisting of well-tested theories and models that are used to explain and predict natural events. Theories are seen as guiding inquiry and evidence from experiments is not only used for/against hypotheses but theories as well. Theories and models are also seen as more or less useful rather than strictly right or wrong and that knowledge of world is fundamentally elusive and uncertain.

Other research on students images of science informs us that students who complete too many investigations, year in and year out, that are designed to follow a set of procedures thus ensuring sound results, fail to recognize that the results of investigations are used in science to engage in model building and revision activities (Driver, Leach, Millar & Scott, 1996). In other words, the impression students acquire is that science investigations typically work and the anticipated outcomes are usually achieved. Absent are the struggles that scientists encounter when trying to decide how, what, where, and when to measure or observe, what Pickering (1992) refer to as 'getting a grip on nature'. A steady diet of investigations-without-struggles leads to students leaving school with naïve notions that the results from investigations and scientific knowledge as non-problematic. Thus, PCOI should instead reveal how obtaining, building and refining scientific knowledge through scientific inquiries involves working through a variety of complex problematic processes. "From the earliest grades, students should have opportunities to carry out careful and systematic investigations, with appropriately supported prior experiences that develop their ability to observe and measure and to record data using appropriate tools and instruments" (NRC, 2012, pp. 60-61).

At all levels there is a need for balance between investigations structured by the teacher and those that emerge from students' own questions. Students should be encouraged and have opportunities to decide what data are to be gathered, what variables should be controlled, what tools or instruments are needed to gather and record data with precision. As students begin to ask and develop hypothesis it is also the time to begin requiring them to explain their reasoning, to justify their choices and to relate their thinking to a well-developed model or theory. As students begin to understand and use scientific theories and models, press them to apply the outcomes of investigations not only to evaluate and revise hypothesis but also to build and refine models and theories. Recall, the goal is to avoid students developing 'Knowledge Unproblematic' views of science knowledge and scientific inquiry. PCOI are important experiences that help students acquire conceptual knowledge, procedural knowledge and epistemic knowledge and develop a 'Knowledge Problematic' view of

scientific inquiry.

References

Abd-El-Khalick, F. (2012). Examining the sources for our understandings about science: Enduring conflations and critical issues in research on nature of science in science education. *International Journal of Science Education, 34*(3), 353–374.

Ackerman, R.J. (1985). *Data, instruments, and theory: A dialectical approach to understanding science*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Aikenhead, G. (1972). *The measurement of knowledge about science and scientists: An investigation into the development of instruments for formative evaluations*. Dissertation Abstracts International 33(1972), 6590A. (University Microfilms No. 72-21,423).

Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E., & Unger, C. (1989). An experiment is when you try it and see if it works: A study of grade 7 students'. Understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education, 11*, 514-529.

Carey, S. & Smith, C. (1993) On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist, 28,* 235-251.

Cartwright, N. (1983). *How the laws of physics lie.*New York: Oxford University Press.

Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. Buckingham, England: Open University Press.

Duschl, R. (2008). Science education in 3 part harmony: Balancing conceptual, epistemic and social learning goals. In. J. Green, A. Luke, & G. Kelly, Eds, *Review of Research in Education, V32*. (pp. 268-291) Washington, DC: AERA.

Duschl, R. & Bybee, R. (2014). Planning and carrying out investigations: An entry to learning and to teacher professional development around NGSS science and engineering practices. *International Journal of STEM Education, 1*(12).

Duschl, R. & Grandy, R. (2013). Two views about explicitly teaching nature of science. *Science & Education, 22*(9), 2109-2140.

Duschl, R. & Grandy, R. (eds.) (2008). *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for research and implementation.* Rotterdam, Netherlands: Sense Publishers.

Ford, M. (2008). 'Grasp of practice' as a reasoning resource for inquiry and nature of science understanding. *Science & Education, 17*, 147-177.

Ford, M. J., & Forman, E. A. (2006). Redefining disciplinary learning in classroom contexts. *Review of Research in Education, 30,* 1-32.

Giere, R. (1988). *Explaining Science: A Cognitive Approach.* Chicago: University of Chicago Press.

Gitomer, D. H. (2008). Policy, practice and next steps for educational research. In Duschl, R. & Grandy, R. (Eds.) *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for research and implementation.* Netherlands: SensePublishers.

Gitomer, D. & Duschl, R. (2007). Establishing multi-level coherence in assessment. In P. Moss (Ed.). *Evidence and decision making, NSSE 2007 Yearbook*, V106, I1.

Goldman, A. (1999). *Knowledge in a Social World.* Oxford: Oxford University Press.

Grosslight, L., Unger, C., Jay. E., & Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching, 28*,799-822.

Hanson, N. (1957). *Patterns of Discovery.* Cambridge: Cambridge University Press.

Kesidou, S., & Roseman, J. E. (2002). How well do middle school science programs measure up? Findings from Project 2061's curriculum review. *Journal of Research in Science Teaching, 39*(6), 522–549.

Kuhn, T. (1960/1996). *The Structure of Scientific Revolutions* (4th ed). Chicago: University of Chicago Press.

Kuhn, T. (2000). *The Road since Structure: Philosophical Essays, 1970-1993 (with an autobiographical interview)*. Edited by James Conant and John Haugeland. Chicago: University of Chicago Press.

Lehrer, R. & Schauble, L. (2006). Cultivating model-based reasoning in science education. In K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences.* New York: Cambridge University Press.

Lehrer, R., Schauble, L., & Lucas, D. (2008). Supporting development of the epistemology of inquiry. *Cognitive Development*, 23, 512-529.

Longino, H. (1990). *Science as Social Knowledge*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Longino, H. (2002). *The Fate of Knowledge.* Princeton: Princeton University Press.

Magnani, L, N. Nersessian, & P. Thagard, eds. (1999). *Model-based Reasoning in Scientific Discovery.* New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.

NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States.* Washington, DC: The National Academies Press.

National Research Council (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. Washington, DC: National Academy Press.

National Research Council (2012). *A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas.* Washington, DC: National Academy Press.

Pea, R. (1993). Learning scientific concepts through material and social activities: Conversational analysis meets conceptual change. *Educational Psychologist, 28*, 265-277.

Pickering, A. (ed.) (1992). *Science as practice and culture*. Chicago: University of Chicago Press.

Pine, J., Aschbacher, P., Roth, E., Jones, M., McPhee, C., Martin, C., Phelps, S., Kyle, T., & Foley, B. (2006). Fifth graders' science inquiry abilities: A comparative study of students in hands-on and textbook curricula. *Journal of Research in Science Teaching, 43*(5), 467-484.

Pintrich, P., Marx, R. & Boyle, R. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research, 63*(2), 167-199.

Popper, K. (1959). *The Logic of Scientific Discovery*, translation of *Logik der Forschung*, London: Hutchinson.

Posner, G., Strike, K., Hewson, P. & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception toward a theory of conceptual change. *Science Education, 66*(2), 211-227.

Quintana, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Krajcik, J., Fretz, E., Duncan, R. G., et al. (2004). A scaffolding design framework for software to support science inquiry. *Journal of the Learning Sciences, 13*(3), 337-386.

Rudolph, J.L. (2005). Inquiry, instrumentalism, and the public understanding of science. *Science Education*. *89*, 803-821.

Sandoval, W. & Reiser, B. (2004). Explanation-driven inquiry: Integrating conceptual and epistemic supports for science inquiry. *Science Education, 88*, 345-372.

Schauble, L., Glaser, R., Duschl, R., Schultz, S., & John, J. (1995). Students' understanding of the objectives and procedures of experimentation in the science classroom. *The Journal of the Learning Sciences, 4*(2), 131-166.

Sinatra, G. & Pintrich, P. eds., (2003). *Intentional conceptual change*. Mahwah, NJ, USA: Erlbaum Publishers.

Smith, C., Wiser, M., Anderson, C., & Krajcik, J. (2006). Implications of research on children's learning for assessment: Matter and atomic molecular theory. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives* (Vol. 4, pp. 11-98). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Thagard, P. (2007). Coherence, truth, and the development of scientific knowledge. *Philosophy of Science, 74*(1), 28-47.

Welch, W. (1973). Review of the research and evaluation program of Harvard Project Physics. *Journal of Research in Science Teaching, 10*, 365-378.

Wilson, M. &Bertenthal, M. (Eds.) (2005). *Systems for state science assessment*. Washington DC: National Academies Press.

Zammito, J.H. (2004*). A nice derangement of epistemes: Post-positivism in the study of science from Quine to Latour*. Chicago: University of Chicago Press.

Appendix A
Nature of Science Seven Tenets

Traditional Tenets from Logical Positivism	Received NOS Views	Reasons for Revision	Revised NOS Views
1. There is an important dichotomy between contexts of discovery and contexts of justification.	Logical positivism's focus was on the final products or outcomes of science. Of the two end points, justification of knowledge claims was the only relevant issue. How ideas, hypotheses and intuitions are initially considered or discovered was not relevant.	Theory change advocates value understanding the growth of knowledge begins. Perhaps the most important element Kuhn and others added is the recognition that most of the theory change is not final theory acceptance, but improvement and refinement.	The bulk of scientific inquiry is neither the context of discovery nor the context of justification. The dominant context is theory development and conceptual modification. The dialogical processes of theory development and of dealing with anomalous data occupy a great deal of scientists' time and energy.
2. The individual scientist is the basic unit of analysis for understanding science.	Logical positivists believed scientific rationality can be entirely understood in terms of choices by individual scientists.	Kuhn's inclusion of the scientific community as part of the scientific process introduced the idea of research groups or communities of practice as being the unit of scientific discourse. This shift from individual to group produced negative reactions from many philosophers. Including a social dimension was seen as threatening the objectivity and rationality of scientific development. Teams of scientists engage in investigations.	Scientific rationality can be understood in terms of dialogic processes taking place as knowledge claims and beliefs are posited and justified. Scientific discourse is organized within a disciplinary matrix of shared exemplars; e.g., values, instruments, methods, models, evidence.
3. There is an epistemologically significant distinction	Logical Positivism focused on the application of logic	The O/T distinction debate showed that our ordinary perceptual	What counts as observational shifts historically as science

Traditional Tenets from Logical Positivism	Received NOS Views	Reasons for Revision	Revised NOS Views
between observational and theoretical (O/T) languages based on grammar.	and on the philosophy of language to analyze scientific claims. Analysis void of contextual and contingent information produces a grammar that fixes criteria for observations.	language is theory laden, what we see is influenced by what we believe. New theories leading to new tools and technologies greatly influenced the nature of observation in science and the representation of information and data.	acquires new tools, technologies and theories. Science from the 1700s to the present has made a transition from a sense perception dominated study of nature to a tool, technology and theory-driven study of nature.
4. Some form of inductive logic would be found that would provide a formal criterion for theory evaluation.	There exists an algorithm for theory evaluation. Given a formal logical representation of the theory and data, the algorithm would provide the rational degree of confirmation the data confer on the theory.	Seeking an algorithm for a rational degree of confirmation is hopeless. Scientists working with the same data can rationally come to differing conclusions about which theory is best supported by given evidence. There is ongoing debate about how much variation is rational and how much is influenced by other factors.	Dialogue over the merits of competing data, models and theories is essential to the process of refining models and theories as well as accepting or rejecting them.
5. Scientific theories can most usefully be thought of as sets of sentences in a formal language.	Logical positivists advocated the position that theories are linguistic in character and could be described with deductive-nomological procedures.	Model-based views about the nature of science embrace, where hypothetical-deductive science does not, the dialogic complexities inherent in naturalized accounts of science. Scientific representations and explanations take many different forms: mathematical models, physical models, diagrams, computation models, etc.	Modern developments in science, mathematics, cognitive sciences, and computer sciences have extended the forms of representation in science well beyond strictly linguistic and logical formats. One widespread view is that theories should be thought of as families of models, and the models stand between empirical/conceptual evidence and theoretical explanations.

Traditional Tenets from Logical Positivism	Received NOS Views	Reasons for Revision	Revised NOS Views
6. Different scientific frameworks within the same domain are commensurable.	Logical positivists sought to establish criteria that supported the claim that there are normative dimensions to scientific inquiry. The growth of scientific knowledge is a cumulative process.	Science communities are organized within disciplinary matrices. Shared exemplars help to define science communities. Scientific frameworks on different sides of a revolutionary change are incommensurable. Hypothesis testing takes place within more complex frameworks requiring more nuanced strategies for representing and reasoning with evidence.	Different scientific frameworks within the same domain share some common ground. But they can disagree significantly on methodology, models and/or relevant data. The issue is the extent to which knowledge, beliefs, reasoning, representations, methods, and goals from one research domain map to another research domain. The social and epistemic contexts are complex indeed.
7. Scientific development is cumulatively progressive.	Logical positivists held that the growth of scientific knowledge is cumulative and continually progressive. Scientists work with common theory choices.	Theory choice is an important dynamic of doing science and it influences how investigations are designed and conducted. On what grounds (e.g., rational vs. irrational) scientists make such choices is a matter for further research and debate.	The Kuhnian view that 'revolutions' involve the abandonment of established guiding conceptions and methods challenges the belief scientific development is always cumulatively progressive. New guiding conceptions inform what counts as an observation or a theory. Such changes reinforce beliefs that all scientific claims are revisable in principle. Thus, we embrace the notions of the 'tentativeness' of knowledge claims and the 'responsiveness' of scientific practices.

CONCEPTUALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DA CIÊNCIA EM CURRÍCULOS E MANUAIS ESCOLARES

Sílvia Ferreira[1]
Ana Maria Morais[1]
Isabel Pestana Neves[1]
Leonor Saraiva[1]
Sílvia Castro[1]

Fundamentos e modelos de análise

A inclusão de uma vertente metacientífica no ensino/aprendizagem das ciências continua a ser um objetivo de investigadores, educadores e professores de ciências. Este aspeto parece ser essencial para garantir uma prática de ensino que integre os três tipos de conhecimento, epistemológico, conceptual e social, e conduza ao objetivo de atingir a *literacia científica* para *todos*.

Apresentam-se os fundamentos relacionados com a conceptualização da construção da ciência que tem orientado a investigação do Grupo ESSA, neste âmbito, ao nível dos currículos, dos manuais escolares e das práticas pedagógicas. Apresentam-se também os modelos de análise concebidos com base nesses fundamentos.

Fundamentos

Embora existam referências na literatura sobre a preocupação de integrar a construção da ciência, nos currículos de ciências, desde há cerca de cem anos (ex., Lederman, 2007), tal como afirmou Watson (1987), persiste uma ignorância geral acerca do modo como a ciência é feita. Por isso, o ensino sobre a construção da ciência continua a ser defendido por muitos autores, como Matthews (2009) ao afirmar que "a ciência, ensinada meramente como um assunto técnico ou uma 'retórica de conclusões', não faz justiça quer à própria ciência quer à educação" (p. 663). Nos anos 60-

[1] Investigadoras do Grupo ESSA (ver notas biográficas).

70 do século XX surgiu a ideia de que uma educação científica relevante deveria englobar uma vertente metacientífica. Esta ideia foi sendo alargada aos diferentes níveis de ensino, em particular, no que diz respeito à abordagem das relações CTS, com vista a uma certa compreensão da ciência pelos cidadãos, favorável a ambos, como refere Caraça (2004).

Atualmente, diversas organizações internacionais defendem o ensino do processo de construção da ciência[2] (ex., AAAS, 1989, 1993; NRC, 1996, 2012; CE, 2007; OCDE/PISA, 2009) como um dos objetivos da educação científica. Por exemplo, o quadro de referência apresentado pelo National Research Council (NRC, 2012) aponta para uma conceção de ciência altamente integradora em termos dos conhecimentos a aprender e dos processos científicos a desenvolver na aprendizagem (*scientific inquiry*), relacionados com a construção da ciência (Figura 2.1., Parte II).

A construção da ciência nos currículos. As orientações para o ensino da construção da ciência, atrás referidas, têm-se traduzido no aumento da ênfase na inclusão da construção da ciência, nos diversos currículos de ciências de inúmeros países (regiões) como os Estados Unidos da América (ex., BSCS, 2011), o Reino Unido (ex., Nuffield Foundation, 2015), Hong Kong (Wong, Wan & Cheng, 2014) e Brasil (Martins, Silva & Prestes, 2014). O mesmo sucedeu em Portugal quando se iniciou a reorganização curricular do ensino básico. Contudo, a ênfase na construção da ciência nos currículos foi colocada em diferentes perspetivas como mostram alguns estudos. Por exemplo, McComas e Olson (1998), nos anos 90 do séc. XX, analisaram a presença da natureza da ciência em oito currículos de ciências, para o ensino secundário, dos Estados Unidos da América, Reino Unido, Austrália, Canadá e Nova Zelândia. A análise teve em consideração aspetos relativos à filosofia, história, sociologia e psicologia da ciência. Os resultados deste estudo mostram que há consenso, nos diferentes currículos analisados, quanto à inclusão da natureza da ciência no ensino das ciências. Contudo, tal como se vê na Figura 3.1., é atribuído um estatuto diferente às várias dimensões em análise, representado pelo

[2] Também denominada "natureza da ciência" (*nature of science*, NOS, no original em inglês) de acordo com a tradição anglo-saxónica.

tamanho relativo dos círculos. O maior estatuto foi atribuído às dimensões filosófica e histórica, nos currículos analisados.

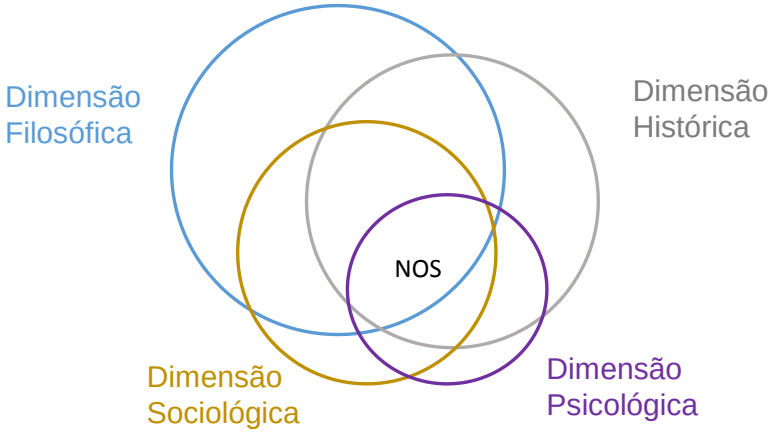


Figura 3.1. Dimensões de análise da presença da natureza da ciência em oito currículos de diferentes países (adaptado de McComas & Olson, 1998).

Construção da ciência – Vários significados. Apesar de a maioria dos investigadores ter chegado a consenso em relação à necessidade de promover a abordagem da metaciência no quadro do ensino/aprendizagem das ciências, não existe acordo sobre o significado da construção da ciência ("natureza da ciência") em termos de *o que* e de *o como* se ensina e aprende. McComas, Clough e Almazroa (1998) propuseram uma definição de "natureza da ciência", como sendo uma expressão "usada para descrever a interseção de assuntos relacionados com a filosofia, história, sociologia e psicologia da ciência no modo como se aplicam e potencialmente influenciam o ensino e aprendizagem da ciência", realçando a importância deste domínio do conhecimento "para guiar os educadores de ciência na representação cuidada da ciência aos alunos" (p. 5).

Outros autores, como Lederman, Abd-el-Khalick, Bell e Schwartz (2002) apresentaram alguns elementos básicos, relacionados, essencialmente,

com conhecimentos simples sobre alguns aspetos ligados à epistemologia e à sociologia da ciência, que consideraram essenciais para ensinar a metaciência em vários níveis de escolaridade: " (1) a natureza empírica da ciência; (2) as leis e teorias científicas; (3) a natureza criativa e imaginativa do conhecimento científico; (4) a natureza do conhecimento científico de base teórica; (5) o conhecimento científico integrado na cultura e na sociedade; (6) o mito do 'método científico'; e (7) a natureza contingente do conhecimento científico" (pp. 500-502). Aqueles autores realçaram, por exemplo, a existência de mitos no ensino das ciências, como é o caso da crença na existência de um método algorítmico, geral e universalmente aplicado pelos cientistas – o "método científico" – originando a acumulação de evidências obtidas por observação e experimentação que vão constituir o corpo de conhecimentos da ciência (leis e teorias) transmitindo, por isso, uma visão positivista de ciência.

Recentemente, McComas (2014) reformulou a sua definição anterior, representando os elementos básicos da "natureza da ciência" frequentemente recomendados no ensino das ciências (K-12[3]) e contemplando as orientações mais recentes do National Research Council (2012). Tal como mostra o esquema da Figura 3.2., McComas considera fundamentais três áreas (inscritas nos círculos): o "Conhecimento científico em si mesmo", as "Ferramentas e produtos da ciência" e os "Elementos 'humanos' da ciência" (p. 2004). Alguns dos elementos descritos em cada área são comuns à conceptualização que tem sido usada por Lederman e colaboradores (2002) e aplicada em inúmeros estudos a nível mundial. Por exemplo, em relação aos elementos do *conhecimento científico*, McComas também realça o caráter contingente da ciência mas, vai mais longe, quando refere os limites da ciência e considera a distinção entre tecnologia e engenharia. Esta perspetiva de McComas deve-se ao relevo atribuído à engenharia nas orientações do National Research Council e à relevância que a tecnologia e a engenharia assumem na sociedade atual (por ex., a bioengenharia), sendo, provavelmente, as áreas que têm maior visibilidade pública.

[3] Designação que engloba todos os níveis de escolaridade, desde a educação pré-escolar (faixa etária dos quatro aos seis anos) ao último ano do ensino secundário (12.º).

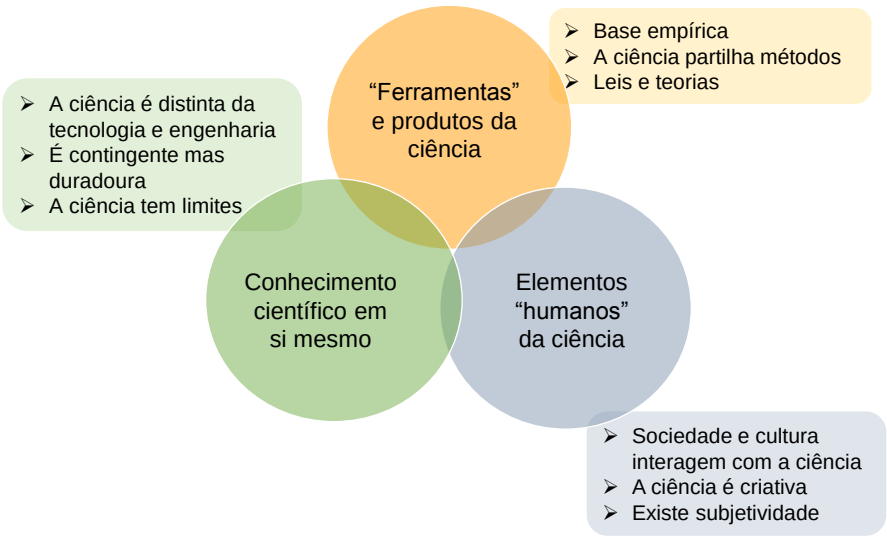


Figura 3.2. Representação de alguns elementos básicos da "natureza da ciência", organizados em três áreas inter-relacionadas, frequentemente recomendados para abordar na educação científica (McComas, 2014, adaptado de McComas, 2008).

Os três elementos das "*ferramentas" e produtos da ciência* – a base empírica, a construção de leis e teorias e os métodos – são apontados por ambos os autores. McComas foca que a ciência partilha métodos, o que significa não existir um único "método científico" (o mito apontado por Lederman e outros). Finalmente, em relação aos elementos *"humanos" da ciência*, a interação da sociedade e da cultura com a ciência e a sua perspetiva criativa são elementos comuns a ambas as definições. Contudo, McComas evidencia o carácter subjetivo do conhecimento como um dos elementos humanos da ciência. Este aspeto não é explícito na conceptualização de Lederman e colaboradores (2002).

Duschl e Grandy (2012) defendem que o ensino da *natureza da ciência* deve assentar na experiência dos alunos em "construir e refinar práticas científicas baseadas em modelos", por oposição à mera apresentação de elementos relativos à construção da ciência no decurso das aulas de

ciências, e no "desenvolvimento de práticas epistémicas, cognitivas e sociais que os cientistas e os alunos de ciências usam quando geram e avaliam evidências, explicações e conhecimentos científicos e quando criticam e comunicam ideias e informações científicas" (abstract).

Ensino sobre a construção da ciência e literacia científica. A compreensão sobre a construção da ciência, apesar das diferentes visões propostas por diversos autores, tem recebido uma atenção renovada como componente fundamental da *literacia científica*. Clough, Olson e Niederhauser (2013) chamam a atenção para o facto de todos os documentos de reforma da educação científica afirmarem que a promoção da *literacia científica* exige a atenção para a *natureza da ciência*. Adiantam também que um cidadão cientificamente literato deve compreender o que é a ciência, como funciona, as suas limitações, a distinção entre ciência e tecnologia e o modo como se relacionam e como a ciência influencia e é influenciada pela sociedade.

À semelhança do que sucede com a conceptualização da construção da ciência, o conceito de *literacia científica* também tem sido objeto de controvérsia havendo inúmeras definições apresentadas por diversos autores. Segundo Roberts (2007), a discussão centra-se em torno da definição de *literacia científica* pois, apesar da clareza de alguns estudos sobre o que e como se deve ensinar, não se encontrou ainda um consenso, podendo distinguir-se tipologias diversas num *continuum* entre dois extremos. Num dos extremos pressupõe-se que os alunos compreendam um assunto como um cientista faria (a ciência como *inquiry*), correndo o risco de incluir material orientado para situações tradicionais apenas como fonte de motivação para os estudantes. No outro extremo, pressupõe-se que o ensino das ciências se processa através de um único contexto: "as perspetivas pessoais e sociais da ciência" (p. 756). Este autor também questiona os estudos centrados na avaliação da literacia científica por encerrarem em si mesmos a subjetividade inerente ao conceito.

Na realidade o conceito tem sido, frequentemente, operacionalizado em termos da avaliação da *literacia científica* dos alunos. Tal é o caso do

programa PISA (OCDE, 2006, 2009) que define a literacia científica, em termos individuais, como

> possuir conhecimento científico e usá-lo para identificar problemas, adquirir novos conhecimentos, explicar fenómenos científicos e concluir baseado em evidências científicas; compreender os aspetos característicos da ciência como uma forma de conhecimento humano e investigação; reconhecer o modo como a ciência e a tecnologia modelam o nosso meio cultural, material e intelectual; ter disponibilidade para se envolver como um cidadão reflexivo nas questões relacionadas com a ciência e as ideias científicas. (OCDE/PISA, 2009, p. 128)

Este conceito pode ser situado, algures, no meio do *continuum* entre as visões extremas referidas por Roberts (2007). Partilha-se a opinião de DeBoer (2000) quando, a propósito da controvérsia sobre o que é e o modo como se poderá atingir a literacia científica para todos, afirma que a "literacia científica implica uma compreensão ampla e funcional sobre a ciência e não a preparação para carreiras científicas e técnicas especializadas" (p. 594).

Conceptualização da construção da ciência. Assumindo a importância da construção da ciência para o ensino das ciências, em particular, como uma forma de atingir a *literacia científica* para *todos,* e face às diferentes visões dos autores que estudam o assunto, necessário se torna encontrar uma resposta para a questão: como é que a ciência se constrói? Esta questão está intimamente ligada a uma outra – O que é a ciência? – que tem recebido, ao longo do tempo, respostas múltiplas e complexas conforme as "lentes", ou seja, as disciplinas metacientíficas, (filosofia, história, psicologia e sociologia) pelas quais é analisada, como se ilustra através das palavras de Ziman (1984)

> A ciência […] é o produto da investigação e emprega métodos característicos; é um corpo organizado de conhecimento; é um meio de resolver problemas. A ciência também é uma instituição social, necessita de materiais próprios, é um tema de educação, é um recurso cultural, tem de ser gerida e é um fator de grande relevo nos empreendimentos humanos. (p. 2)

A estas respostas junta-se, ainda, a visão dos cientistas, como a do biofísico Quintanilha (2003) quando afirma que

> A ciência não é fácil, é competitiva, nem toda a gente é capaz de fazer bem ciência, mas o prazer de estar na fronteira entre o conhecido e o desconhecido e perceber

> como é que os mecanismos funcionam é das coisas mais fabulosas que existe. É das áreas que mais mistério trazem às pessoas.

Se o conceito de ciência é polémico e multifacetado também não existe uma única resposta para a questão sobre o modo como a ciência se constrói. A partir do final do século XIX, com a emergência de novas áreas do conhecimento, da crescente especialização da ciência e da tecnologia e da progressiva complexidade das relações entre a ciência e a sociedade, a construção da ciência e as características do trabalho científico foram e continuam a ser objeto de debates epistemológicos. Por exemplo, alguns sociólogos da ciência estudam as relações que os cientistas estabelecem nos grupos em que trabalham e entre estes grupos e instituições sociais, evidenciando a importância da comunicação científica, durante o processo de desenvolvimento tecnológico. Neste sentido, Knorr-Cetina (1999) afirma que "os grupos que trabalham numa tecnologia têm igualmente de se por à prova a si mesmos e mostrar continuamente a sua capacidade ao público" (p. 392). Os filósofos, por sua vez, interrogam-se, há muito, sobre variados aspetos da construção do conhecimento científico, entre eles a objetividade da ciência, como Gil (1999) quando refere

> Antes de tudo o mais, a ciência é obra de indivíduos colaborando com outros indivíduos. […]. Se assim é, como se obtém e se garante a objetividade, ou seja, uma ciência que será a mesma para todos porque se impõe da mesma maneira a todos? A história das ciências torna patente que a objetividade não é dada mas conquistada […], que ela nunca é total e constitui a resultante de um conjunto de fatores que não são todos interiores ao trabalho científico (p. 11).

Modelo de construção da ciência proposto por Ziman. Face à dificuldade em obter uma ideia consensual sobre ciência e o modo como a ciência se constrói, dado o carácter controverso das teorizações sobre ciência e a sua sofisticação crescente, a investigação do Grupo ESSA tem sido fundamentalmente orientada pela conceptualização multidimensional de ciência de Ziman (1984, 2000). Considera-se a conceção de ciência demasiado complexa para poder ser descrita por uma qualquer definição formal, correndo-se o risco de ignorar alguns dos seus aspetos significativos, pela dificuldade em agregar as perspetivas filosóficas, psicológicas e sociais que a caracterizam. No âmbito da investigação do

Grupo ESSA, esta conceptualização tem permitido uma análise articulada das várias disciplinas metacientíficas, ao contrário das posições de outros autores que focam mais uma ou outra vertente e não o conjunto das dimensões de construção da ciência no modelo proposto por Ziman. Para além disso, este modelo permite responder de um modo abrangente a muitas dúvidas conceptuais e terminológicas que persistem neste domínio.

Este autor considera quatro dimensões metacientíficas: filosófica, histórica, psicológica e sociológica, sem fronteiras nítidas a separá-las (Figura 3.3.). Na interseção destas dimensões, Ziman concebe um eixo temporal, ao longo do qual a ciência evolui pela inter-relação dos aspetos filosóficos, sociológicos e psicológicos, em diversos momentos, conferindo-lhe uma dimensão histórica.

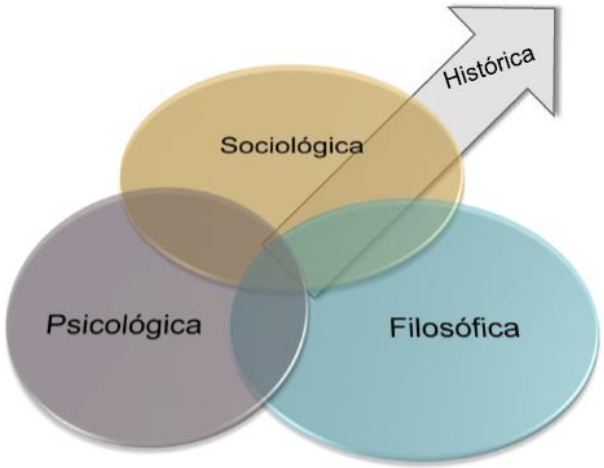


Figura 3.3. Modelo de construção da ciência (adaptado de Ziman, 1994, 2000).

A dimensão filosófica caracteriza a ciência no seu aspeto dinâmico e dá ênfase aos processos investigativos de trabalho, usados pelos cientistas, como elementos de metodologias próprias (ex., a observação, a experimentação, a teorização) destinadas a obter informação fidedigna (confiável) acerca do mundo natural. A metodologia científica está direcionada para ultrapassar as duas maiores fontes de incerteza empírica:

(a) a *subjetividade*, dado que o conhecimento científico é subjetivo porquanto a informação é obtida com a intervenção humana; e (b) a *contingência*, traduzida pela replicabilidade dos dados de interesse científico e dos procedimentos de investigação por parte de grupos independentes de cientistas.

A dimensão psicológica da ciência refere-se às características psicológicas dos cientistas que influenciam o seu trabalho. A ciência é uma atividade humana e, como tal, está sujeita aos condicionalismos da natureza humana – desejos, qualidades, ambições e fragilidades dos cientistas que influenciam o seu trabalho e podem pôr em causa a ética profissional. Os traços de caráter há muito defendidos como apropriados a um cientista são: curiosidade, inteligência, persistência, honestidade e coragem para validar os seus resultados e submetê-los à crítica dos seus pares.

A dimensão sociológica (Figura 3.4.) refere-se às relações entre os membros da comunidade científica (sociologia interna, DSI) e às inter-relações que estabelecem com a sociedade em geral (sociologia externa, DSE).

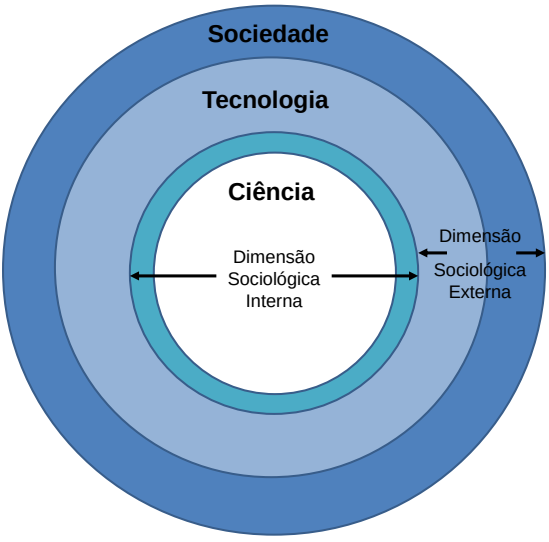


Figura 3.4. As vertentes interna e externa da dimensão sociológica da ciência (adaptado de Ziman, 1984, 2000).

Ziman salienta que os cientistas estão integrados numa comunidade científica estabelecendo interações sociais uns com os outros. Os cientistas comunicam entre si partilhando perspetivas e resultados experimentais que os levam a reestruturar constantemente os seus trabalhos, a encontrar novas vias de investigação num empreendimento que é, cada vez mais, um processo colaborativo e não uma atividade isolada. Estas interações constituem a vertente interna da dimensão sociológica. Ziman encara a ciência como uma instituição social, inserida na sociedade e desempenhando certas funções para a sociedade. Na sociedade atual, a ciência e a tecnologia estão intimamente ligadas. As novas ideias e aplicações da ciência influenciam as inovações e produções tecnológicas e a tecnologia fornece à ciência novos instrumentos e procedimentos de investigação que a fazem avançar. Os processos e produtos tecnológicos têm uma maior visibilidade e impacto na sociedade, pelo que a tecnologia pode ser vista como um interface entre a ciência e a sociedade. Para este autor, a relação biunívoca entre Ciência/Tecnologia/Sociedade (CTS), corresponde apenas à dimensão sociológica na sua vertente externa.

A dimensão histórica realça o caráter de arquivo da ciência e confere-lhe uma perspetiva de atividade dinâmica que progride ao longo do tempo. A acumulação de conhecimento científico, organizado em esquemas teóricos coerentes e divulgado em publicações, é um processo histórico com especial significado que permite a reestruturação de esquemas teóricos universais e a sua utilização em proveito da humanidade. Desde que a ciência se institucionalizou, podemos considerar as três dimensões com diferentes perspetivas, condicionadas pelas realidades culturais e sociais das várias épocas históricas, num sentido de complexidade crescente.

Os estudos realizados pelo Grupo ESSA no âmbito da construção da ciência (ex., Castro, 2006, 2015; Ferreira & Morais, 2014; Saraiva, 2015) têm subjacente a perspetiva de Ziman (1984, 2000) considerando a interação entre ciência, tecnologia e sociedade (CTS) incluída na dimensão sociológica externa. Para outros autores (ex., Aikenhead, 2000, 2009), a relação CTS compreende a interação externa entre ciência, tecnologia e sociedade, mas também o funcionamento interno do empreendimento científico, bem como aspetos relacionados com a

filosofia e a história da ciência. Para Aikenhead (2009), um dos objetivos principais da perspetiva CTS é proporcionar a aprendizagem dos conteúdos científicos de uma forma contextualizada, colocando assim o enfoque na cultura local. Com a abordagem CTS as fronteiras entre as várias disciplinas metacientíficas ficam esbatidas, o que torna pouco explícito o objeto de estudo de cada uma delas. Por conseguinte, ao contrário do que acontece com a perspetiva de Ziman (1984, 2000), uma análise da construção da ciência em textos pedagógicos baseada na abordagem CTS levantaria com certeza dificuldades, nomeadamente ao nível da categorização dos conteúdos metacientíficos.

Construção da ciência na aprendizagem científica. A introdução do processo de construção da ciência (conhecimento metacientífico) na aprendizagem científica deve ser perspetivada tendo em consideração a diferença de estrutura entre o conhecimento científico e o conhecimento metacientífico, tal como mostra o esquema da Figura 3.5.

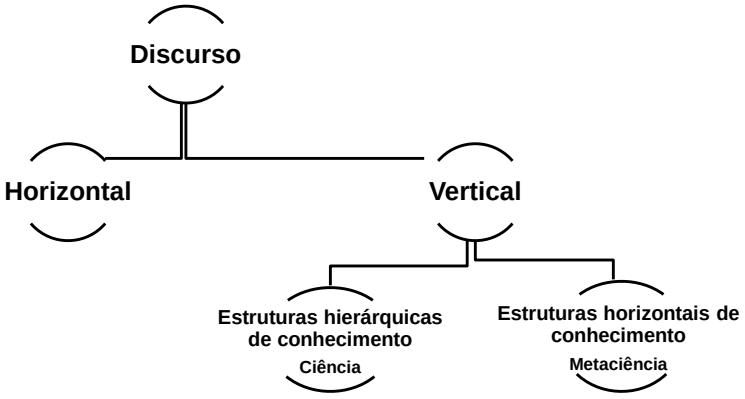


Figura 3.5. Discursos verticais e horizontais (adaptado de Bernstein, 1999).

Tal como já foi referido na primeira secção temática, o conhecimento científico tem uma estrutura hierárquica caracterizada pela articulação entre níveis de conhecimento no sentido do desenvolvimento de teorias

sucessivamente mais gerais e integradoras, como é o caso da Teoria da Evolução em Biologia e da Tectónica de Placas em Geologia, cujo desenvolvimento resulta de uma conceptualização/linguagem conceptual cada vez mais abrangente que se processa segundo uma estrutura hierarquizada. O conhecimento metacientífico tem uma estrutura horizontal caracterizada por uma série cumulativa de linguagens especializadas (paralelas) com os seus modos próprios de questionamento e com critérios específicos para a produção e a circulação de textos. É o que acontece com as disciplinas metacientíficas.

No caso de disciplinas científicas como a Biologia ou a Física, enquanto formas de conhecimento com uma estrutura hierárquica, não se coloca o problema de saber se se está a falar ou a escrever sobre a Biologia ou a Física mas, tão só, se se está a fazer o uso correto da linguagem conceptual de cada uma das disciplinas. Nestas formas de conhecimento a passagem de uma teoria para outra não indica uma quebra da linguagem mas simplesmente uma extensão do poder descritivo e explicativo da linguagem. O mesmo não acontece em relação ao conhecimento metacientífico, pois tratando-se de um conhecimento de estrutura horizontal, desenvolve-se com a introdução de uma ou mais novas linguagens a que está associado um novo conjunto de questões e relações, aparentemente uma nova problemática e um novo grupo de estudiosos que adotam a nova linguagem. De facto, para cada uma das disciplinas metacientíficas – história, psicologia, filosofia, sociologia – existem várias linguagens paralelas consoante o posicionamento ideológico dos investigadores, como por exemplo, no caso da filosofia, o positivismo, o realismo ou o relativismo filosófico.

Assim, o ensino da construção da ciência exige dos professores uma grande capacidade de articulação entre dois tipos de conhecimentos, porque implica um posicionamento duplo dos professores de ciências: ao nível de *o que* ensinar, os professores têm de lidar, desejavelmente, em harmonia, com um *que* com uma estrutura hierárquica (ciência) e com um outro *que* caracterizado por ter uma estrutura horizontal (metaciência). Ao contrário do ensino das disciplinas científicas, onde *o que* é ensinado tem uma estrutura hierárquica, *o que* metacientífico é caracterizado por ter

uma estrutura horizontal, isto é, com linguagens paralelas. Dito de outro modo, a estrutura horizontal do conhecimento metacientífico, sendo diferente da estrutura hierárquica do conhecimento científico, poderá levantar dificuldades de operacionalização aos professores de ciências, socializados em estruturas hierárquicas (disciplinas científicas) do conhecimento durante a sua formação académica.

Modelo da metodologia de investigação. Revisitando o modelo de investigação que o Grupo ESSA tem seguido (Morais & Neves, 2001), recorda-se que, na construção dos modelos e instrumentos de análise, se parte de conceitos de várias áreas: da epistemologia, usando, por exemplo, a conceptualização da Ziman (1984, 2000); da psicologia (ex., Vygotsky, 1979); e da sociologia, com base na teoria de Bernstein (1990, 2000), o que remete para uma metodologia de investigação de base racionalista. Estas teorias constituem a linguagem interna de descrição (Figura 1.6., Parte I). A partir destas e de outras teorias, o Grupo ESSA tem desenvolvido uma linguagem externa de descrição. É esta linguagem externa de descrição (modelos, etc.) que dirige a investigação. De acordo com este modelo há uma constante relação dialética entre os conceitos teóricos e os dados empíricos. Em resultado desta relação dialética, as proposições teóricas, a linguagem externa de descrição e a análise empírica interatuam de forma transformativa de modo a conduzir a uma maior profundidade e precisão sobre o que se pretende compreender (Morais & Neves, 2001). Contrariamente a outras teorias da área da educação, a teoria de Bernstein (1990, 2000) contém potencialidades de diagnóstico, previsão, descrição, explicação e transferência, aproximando-se das teorias com gramáticas fortes, permitindo uma conceptualização a um nível mais elevado, sem perder a relação dialética entre o teórico e o empírico.

Pelo facto de os conhecimentos metacientíficos (e de os conhecimentos de educação em geral que definem *o como* se ensina) possuírem uma estrutura horizontal, com várias linguagens conceptuais paralelas (relacionadas com cada uma das disciplinas metacientíficas), eles têm uma sintaxe conceptual menos explícita do que os conhecimentos científicos e, em consequência, as descrições empíricas geradas são menos precisas e

dificultam a construção de modelos formais de relações empíricas. Dito de outro modo, a estrutura conceptual das disciplinas metacientíficas não tem as potencialidades de diagnóstico, previsão, descrição, explicação e transferência das teorias científicas propostas pelas disciplinas com estruturas hierárquicas de conhecimento.

A opção pela utilização da linguagem interna de descrição sobre ciência, proposta por Ziman (1984, 2000), para a construção dos modelos e dos instrumentos de análise que orientam a investigação do Grupo ESSA, justifica-se pelo facto de esta linguagem traduzir uma conceptualização mais abrangente e facilitadora da categorização dos vários aspetos da construção da ciência (dimensões) do que outras linguagens de descrição da ciência apresentadas.

Modelos de análise

Com base nos modelos teóricos que têm orientado a conceptualização da construção da ciência, apresentam-se alguns modelos de análise que foram produzidos e têm sido utilizados no âmbito dos estudos do Grupo ESSA. A investigação realizada neste âmbito tem-se focado em diferentes dimensões de análise, nomeadamente na complexidade dos conhecimentos metacientíficos, na complexidade da relação entre conhecimentos científicos e conhecimentos metacientíficos, na complexidade das capacidades metacientíficas e ainda na explicitação da construção da ciência, ao nível da relação Ministério da Educação-professor e da relação professor-aluno. São diversos os textos educacionais e relações que podem e têm sido objeto de análise: os princípios gerais e os princípios específicos de currículos, que fazem parte do discurso pedagógico oficial (DPO); os manuais escolares e as práticas pedagógicas, ambos discursos pedagógicos de reprodução (DPR); e ainda os processos de recontextualização que podem ocorrer entre estes diversos textos educacionais (Figura 3.6.). A análise apresentada vai estar focada sobretudo no currículo de Biologia e Geologia do ensino secundário, com alguns exemplos do 3.º ciclo, e apenas em algumas das dimensões de análise: complexidade do conhecimento metacientífico, complexidade da

relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos e complexidade das capacidades metacientíficas.

Para a análise de cada uma das dimensões da construção da ciência, foram construídos e aplicados instrumentos de análise. Quanto à complexidade dos conhecimentos metacientíficos, o instrumento de análise contém quatro graus de complexidade. Essa complexidade está baseada na distinção entre factos, conceitos simples, conceitos complexos e temas unificadores/teorias, tendo em consideração definições apresentadas por diversos autores (ex., Anderson et al., 2001; Cantu & Herron, 1978).

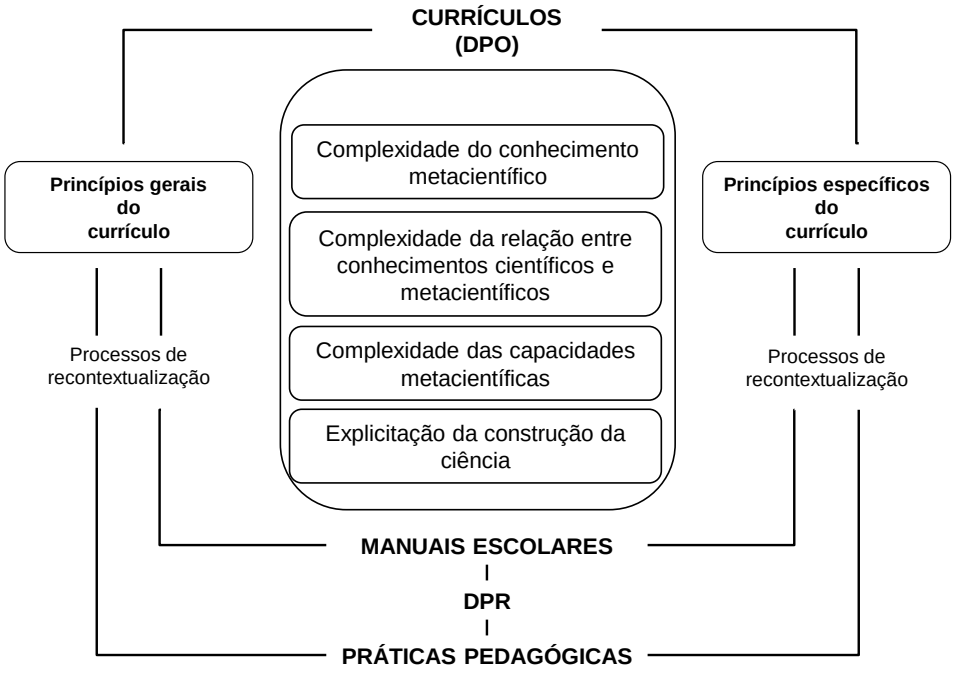


Figura 3.6. Dimensões de análise da construção da ciência em textos educacionais e processos de recontextualização (adaptado de Morais & Neves, 2012).

Na Tabela 3.1. apresenta-se um excerto deste instrumento para a dimensão filosófica. Para as restantes dimensões de construção da ciência, os descritores são semelhantes. Ao nível deste instrumento, considerou-se necessário incluir o grau 0, que não se refere diretamente à complexidade

do conhecimento metacientífico, mas permite contabilizar as unidades de análise que não mencionam conhecimentos metacientíficos. O grau 1 inclui factos, que correspondem a dados que resultam da observação, por evidências diretas ou indiretas. O grau 2 integra conceitos simples, que se caracterizam por ter um baixo nível de abstração, atributos definidores e exemplos que são observáveis (Brandwein et al., 1980; Cantu & Herron, 1978). O grau 3 inclui conceitos complexos. Os conceitos complexos são aqueles que, ao contrário dos anteriores, não têm exemplos percetíveis ou, então, têm atributos definidores que não são percetíveis (Brandwein et al., 1980; Cantu & Herron, 1978). O grau 4 corresponde a temas unificadores e teorias. Os temas unificadores dizem respeito a ideias estruturantes que correspondem a generalizações sobre o mundo aceites pela comunidade científica (Campbell & Reece, 2008). As teorias científicas correspondem a explicações sobre uma ampla variedade de fenómenos relacionados e que já foram sujeitas a testagem significativa (Duschl et al., 2007).

Tabela 3.1.
Excerto do instrumento de caracterização da complexidade dos conhecimentos metacientíficos relativos à dimensão filosófica.

Grau 0	**Grau 1**	**Grau 2**	**Grau 3**	**Grau 4**
Não são referidos conhecimentos metacientíficos relativos à dimensão filosófica da ciência.	São referidos conhecimentos metacientíficos de natureza factual relativos à dimensão filosófica da ciência correspondentes a informação concreta, observável ou percetível.	São referidos conhecimentos metacientíficos simples relativos à dimensão filosófica da ciência correspondentes a conceitos simples, com um nível de abstração baixo e características facilmente percetíveis.	São referidos conhecimentos metacientíficos complexos relativos à dimensão filosófica da ciência correspondentes a conceitos complexos, com um nível de abstração alto e características não percetíveis.	São referidos conhecimentos metacientíficos complexos relativos à dimensão filosófica da ciência correspondentes a temas unificadores ou ideias estruturantes e teorias.

Nota. Os instrumentos elaborados para as restantes dimensões da construção da ciência – histórica, psicológica e sociológica (interna e externa) – contêm descritores semelhantes, adaptados às respetivas dimensões. Adaptado de Castro (2015) e de Ferreira e Morais (2014).

Na Tabela 3.2. apresentam-se dois exemplos do documento das Orientações Curriculares de Ciências Naturais do 3.º ciclo do ensino básico (DEB, 2002), com diferentes graus de complexidade dos conhecimentos metacientíficos.

Tabela 3.2.
Exemplos da complexidade dos conhecimentos metacientíficos no currículo de Ciências Naturais do 3.º CEB.

[1]	Grau 2 – "A pesquisa de informação sobre o trabalho de cientistas que contribuíram para o conhecimento do organismo humano e para o desenvolvimento de procedimentos médicos e cirúrgicos (Harvey, Pasteur, Egas Moniz, entre outros) pode contribuir para o reconhecimento da Ciência como uma atividade humana influenciada por fatores sociais." (*Orientações Curriculares 3.º ciclo*, p. 36)
[2]	Grau 4 – "[…] a interação Ciência – Tecnologia – Sociedade – Ambiente deverá constituir uma vertente integradora e globalizante da organização e da aquisição dos saberes científicos. […] Esta vertente assume um sentido duplo no contexto da aprendizagem científica […] através da compreensão das potencialidades e limites da Ciência e das suas aplicações tecnológicas na Sociedade. Por outro lado, permite uma tomada de consciência quanto ao significado científico, tecnológico e social da intervenção humana na Terra […]." (*Orientações Curriculares 3.º ciclo*, p. 9)

Nota. Adaptado de Castro (2015) e de Ferreira e Morais (2014).

No excerto [1] estão envolvidos conhecimentos simples associados à dimensão histórica e à dimensão sociológica externa, nomeadamente os seguintes: a história da ciência engloba uma sucessão de descobertas e de novos métodos; a investigação científica, bem como a produção de conhecimentos e previsões científicas tem repercussões na sociedade e/ou no ambiente/espécie humana (relação C-S); e a sociedade exerce pressão sobre a ciência, no sentido de esta desenvolver novo conhecimento em resposta aos seus problemas (relação S-C). Deste modo, o excerto foi classificado com grau 2 para ambas as dimensões consideradas. No excerto [2] está envolvido um tema unificador associado à dimensão sociológica externa: existe um ciclo C-T-S que compreende as relações biunívocas que se estabelecem entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade (relação C-T-S). Por isso, o excerto foi classificado com o grau 4.

Na Tabela 3.3. apresentam-se outros exemplos de unidades de análise de manuais de Biologia e Geologia do 10.º ano e a respetiva análise quanto à complexidade dos conhecimentos metacientíficos.

Tabela 3.3.
Exemplos da complexidade dos conhecimentos metacientíficos em manuais de Biologia e Geologia do ensino secundário.

[3]	Grau 1 – "No início da década de 50 do século XX, o microscópio eletrónico permitiu a observação da ultraestrutura de membranas, que surge formada por duas zonas escuras separadas por uma banda clara." (*Manual de Biologia e Geologia,* 10.º ano, p. 53)
[4]	Grau 2 – "Investigações posteriores vieram apoiar as conclusões de Engelmann, permitindo estabelecer com mais rigor uma correlação entre o espetro de absorção dos pigmentos fotossintéticos e o espetro de ação da fotossíntese." (*Manual de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 75)
[5]	Grau 3 – "O conhecimento dos componentes químicos das membranas e do comportamento desses constituintes no seio da água foi relevante para os cientistas admitirem modelos sobre a arquitetura dessa formação celular muito antes de ser observada ao microscópio eletrónico." (*Manual de Biologia e Geologia,* 10.º ano, p. 52)
[6]	Grau 4 – "As explicações consideradas inserem-se numa linha de pensamento catastrofista. Para alguns cientistas, o desaparecimento dos dinossauros dever-se-ia à queda de um meteorito, cuja cratera de impacto estaria situada junto ao golfo do México. […] No entanto, outros cientistas, nomeadamente os paleontólogos, afirmam que não é preciso recorrer a estas explicações catastróficas para explicar a extinção dos dinossauros. […]" (*Manual de Biologia e Geologia,* 10.º ano, pp. 45-46)

Nota. Adaptado de Castro (2015).

No excerto [3] pode verificar-se que o texto apresentado no manual apela a factos associados à dimensão sociológica externa, já que o excerto se refere exclusivamente a dados que resultam da observação, tendo sido classificado com o grau 1. Neste caso, o conceito metacientífico a que se poderá chegar é o seguinte: o desenvolvimento da tecnologia leva a novas investigações científicas e, consequentemente, ao desenvolvimento da ciência (relação T-C). O excerto [4] apresenta conhecimento metacientífico simples ao nível da dimensão filosófica, nomeadamente:

em ciência, para uma mesma teoria explicativa de um determinado fenómeno, podem existir, simultaneamente, factos que a apoiam e factos que não é possível explicar à luz dessa teoria. Foi, assim, classificado com o grau 2.

No caso do excerto [5] é focado conhecimento metacientífico complexo ao nível da dimensão filosófica: a construção do conhecimento científico engloba modelos, ou seja, representações do mundo, através das quais se procura simplificar a realidade para que esta possa ser analisada. A unidade de análise foi classificada com o grau 3. No excerto [6], o texto do manual foca conhecimentos complexos associados à dimensão filosófica, com o maior grau de complexidade (grau 4): o conhecimento científico produzido insere-se em quadros teóricos mais amplos ou temas unificadores. Neste excerto também está presente conhecimento associado à dimensão sociológica interna, mas com um menor grau de complexidade: dentro da comunidade científica existem por vezes teorias diferentes em resposta a um mesmo problema.

No que respeita à análise das relações intradisciplinares no contexto da construção da ciência, foca-se a relação entre conhecimentos científicos e conhecimentos metacientíficos. O instrumento foi construído de modo a possuir uma escala de quatro graus, tendo-se recorrido ao conceito de classificação de Bernstein (1990, 2000). A classificação diz respeito ao estabelecimento de fronteiras mais ou menos acentuadas, neste caso, entre conhecimentos científicos e conhecimentos metacientíficos. Deste modo, o valor extremo da classificação mais forte (Grau 1/C^{++}) corresponde a uma situação em que não existe relação entre estes dois tipos de conhecimentos. O valor extremo da classificação mais fraca (Gau 4/$C^{- -}$) corresponde a uma situação em que existe uma forte relação entre esses dois tipos conhecimentos. Na Tabela 3.4. apresenta-se um excerto deste instrumento.

Como se pode verificar na Tabela 3.4., estabeleceu-se que os graus 1 e 2 da escala, correspondentes aos valores mais fortes de classificação (C^{++} e C^{+}), referem-se a situações em que não há a relação entre os conhecimentos científicos e metacientíficos. No grau 1 é apenas focado

conhecimento de natureza científica e no grau 2 é focado também conhecimento de natureza metacientífica mas sem estar relacionado com o conhecimento científico. Pelo contrário, os graus 3 e 4, correspondentes a classificações mais fracas (C^- e C^{--}), referem-se a situações em que ocorre relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos com diferentes enfoques no grau 3 e com igual estatuto no grau 4.

Tabela 3.4.
Excerto do instrumento de caracterização da complexidade da relação entre conhecimentos científicos e conhecimentos metacientíficos.

Grau 1 $\mathbf{C^{++}}$	**Grau 2** $\mathbf{C^{+}}$	**Grau 3** $\mathbf{C^{-}}$	**Grau 4** $\mathbf{C^{--}}$
Contemplam a aquisição apenas de conhecimentos de natureza científica.	Contemplam a aquisição de conhecimentos de natureza metacientífica, mas não a relação entre estes e os conhecimentos de natureza científica.	Contemplam a aquisição de conhecimentos de natureza metacientífica e também relações entre estes e os conhecimentos de natureza científica, sendo conferido a estes últimos maior estatuto nessa relação.	Contemplam a aquisição de conhecimentos de natureza metacientífica e também relações entre estes e os conhecimentos de natureza científica, sendo conferido a estes dois tipos de conhecimentos igual estatuto nessa relação.

Nota. Adaptado de Castro (2015) e de Ferreira e Morais (2014).

Na Tabela 3.5. apresentam-se exemplos para os graus extremos de complexidade da relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos retirados do documento das Orientações Curriculares de Ciências Naturais do 3.º ciclo do ensino básico (DEB, 2002). O excerto [7] envolve apenas conhecimento científico sobre os fatores abióticos e bióticos, pelo que foi classificado com o grau 1. No caso do excerto [8], classificado com o grau 4, há uma relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos em que ambos têm igual estatuto.

Tabela 3.5.
Exemplos da complexidade da relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos no currículo de Ciências Naturais do 3.º CEB.

[7]	Grau 1/C^{++} – "A questão 'Como interagem os seres vivos com o ambiente?' pressupõe que os alunos compreendam que do ambiente fazem parte não só as condições físico-químicas, mas também todos os fatores que interatuam com os seres vivos em causa – fatores abióticos e bióticos." (*Orientações Curriculares 3.º ciclo,* p. 23)
[8]	Grau 4/C^{--} – "A vivência de situações diferenciadas em sala de aula, a discussão de assuntos controversos, a condução de investigação pelos alunos, o envolvimento em projetos interdisciplinares (realizações que implicam a seleção de informação e comunicação de resultados) conduzem, de uma forma mais completa, à compreensão do que é a Ciência." (*Orientações Curriculares 3.º ciclo,* p. 8)

Nota. Adaptado de Castro (2015) e de Ferreira e Morais (2014).

Na Tabela 3.6. apresentam-se exemplos para cada um dos graus de complexidade da relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos do programa de Biologia e Geologia do 10.º ano do ensino secundário (DES, 2001).

No excerto [9], a metodologia apela apenas a conhecimento científico, pelo que foi avaliada com o grau 1 (classificação muito forte). No excerto [10] está presente conhecimento metacientífico relativo à dimensão filosófica, mas não a sua relação com o conhecimento científico (Grau 2/C^{+}). A orientação metodológica do excerto [11] foi classificada com o grau 3 porque apela à relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos, nomeadamente à relação entre ciência e tecnologia, ao nível da dimensão sociológica externa, mas é o conhecimento científico sobre os organitos celulares que tem um estatuto mais elevado. O excerto [12] apela a uma relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos com igual estatuto, ao nível da dimensão filosófica. Este excerto foi, assim, avaliado com o grau 4 (classificação muito fraca).

Tabela 3.6.
Exemplos da complexidade da relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos do programa de Biologia e Geologia do ensino secundário.

[9]	Grau 1/C^{++} – "Relacionar as estruturas respiratórias dos animais com a sua complexidade e adaptação ao meio." (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 85)
[10]	Grau 2/C^{+} – "Valorização do registo sistemático de dados durante os trabalhos de campo." (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 85)
[11]	Grau 3/C^{-} – "Relembrar os organitos celulares utilizando esquemas e referir a mitocôndria como organito indispensável ao processo de respiração aeróbia. Explorar o facto destes organitos não terem sido observados em trabalhos práticos anteriores e discutir a necessidade de recorrer a outros instrumentos óticos com maior poder de resolução e de ampliação que serão, eventualmente, alvo de ulteriores estudos." (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 6)
[12]	Grau 4/$C^{- -}$ – "Assim, no final do 11.º ano, espera-se que os alunos se tenham apropriado dos conceitos fundamentais inerentes aos sistemas vivos que constituem, afinal, o objeto de estudo da Biologia; deseja-se que tenham reforçado algumas capacidades e competências próprias das ciências, em particular da Biologia […]." (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 66)

Nota. Adaptado de Castro (2015).

Quanto à complexidade das capacidades metacientíficas, o instrumento de análise contém seis graus de complexidade. Esses graus têm sido definidos com base em diferentes taxonomias de categorização das capacidades cognitivas, de que, no estudo de Castro (2015), é exemplo a taxonomia revista de Bloom (Anderson et al., 2001). Na Tabela 3.7. apresenta-se um excerto deste instrumento. Importa salientar que foram consideradas como capacidades metacientíficas os processos mentais de diferentes níveis de complexidade, consoante as etapas envolvidas (Marzano & Kendall, 2007). Neste âmbito, esses processos mentais relacionam-se com conhecimentos inerentes à natureza da ciência, tendo sido associados às diferentes dimensões da construção da ciência preconizadas por Ziman (1984).

Tabela 3.7.
Excerto do instrumento de caracterização da complexidade das capacidades metacientíficas relativos à dimensão filosófica.

Grau 1	Grau 2	Grau 3	Grau 4	Grau 5	Grau 6
São referidas capacidades, ao nível da categoria memorizar, relativas à dimensão filosófica.	São referidas capacidades, ao nível da categoria compreender, relativas à dimensão filosófica.	São referidas capacidades, ao nível da categoria aplicar, relativas à dimensão filosófica.	São referidas capacidades, ao nível da categoria analisar, relativas à dimensão filosófica.	São referidas capacidades, ao nível da categoria avaliar, relativas à dimensão filosófica.	São referidas capacidades, ao nível da categoria criar, relativas à dimensão filosófica.

Nota. Os instrumentos elaborados para as restantes dimensões da construção da ciência – histórica, psicológica e sociológica (interna e externa) – contêm descritores semelhantes, adaptados às respetivas dimensões. Adaptado de Castro (2015).

Na Tabela 3.8. apresentam-se dois exemplos de unidades de análise do documento das Orientações Curriculares de Ciências Naturais do 3.º ciclo (DEB, 2002) e a respetiva análise quanto à complexidade das capacidades metacientíficas.

Tabela 3.8.
Exemplos da complexidade das capacidades metacientíficas no currículo de Ciências Naturais do 3.º CEB.

[13]	Grau 2 – "No âmbito do estudo desta temática podem também ser realizadas atividades experimentais para a observação, por exemplo, da influência da luz no desenvolvimento das plantas." (*Orientações Curriculares 3.º ciclo,* p. 23)
[14]	Grau 5 – "Propõe-se a análise e debate de relatos de descobertas científicas, nos quais se evidenciem êxitos e fracassos, persistência e modos de trabalho de diferentes cientistas, influências da sociedade sobre a Ciência, possibilitando ao aluno confrontar, por um lado, as explicações científicas com as do senso comum, por outro, a ciência, a arte e a religião." (*Orientações Curriculares 3.º ciclo,* p. 5)

Nota. Adaptado de Castro (2015) e de Ferreira e Morais (2014).

No excerto [13], está envolvida uma capacidade metacientífica ao nível da dimensão filosófica da categoria compreender, nomeadamente: recolher e/ou organizar e/ou interpretar dados de natureza diversa. Assim, a

unidade de análise foi classificada com o grau 2. No excerto [14], com enfoque na dimensão histórica (apesar de estarem envolvidas outras dimensões da construção da ciência) ao nível das categorias analisar e avaliar surgem as seguintes capacidades metacientíficas: analisar e debater relatos de descobertas científicas e de outros episódios da história da ciência; e ponderar argumentos sobre assuntos controversos que surgiram ao longo dos tempos no âmbito do conhecimento científico. Deste modo, esta orientação metodológica foi classificada com o grau 5. É de salientar que numa determinada unidade de análise podem surgir capacidades associadas a diferentes dimensões da construção da ciência e cada uma dessas capacidades deve ser analisada.

Na Tabela 3.9. apresentam-se exemplos de diferentes graus de complexidade das capacidades metacientíficas do programa de Biologia e Geologia do 10.º ano do ensino secundário (DES, 2001).

Tabela 3.9.
Exemplos da complexidade das capacidades metacientíficas do programa de Biologia e Geologia do ensino secundário.

[15]	Grau 2 – "O reforço das capacidades de abstração, experimentação, trabalho em equipa, ponderação e sentido de responsabilidade permitirá o desenvolvimento de competências que caracterizam a Biologia como Ciência." (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 78)
[16]	Grau 3 – "Identificar seres vivos a partir de dados obtidos com a ajuda de instrumentos de laboratório e/ou pesquisa bibliográfica." (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 78)
[17]	Grau 4 – "Interpretação de dados experimentais relativos ao rendimento energético dos processos de fermentação e de respiração anaeróbia, bem como às trocas gasosas dependentes dos mecanismos de abertura e fecho dos estomas." (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 84)
[18]	Grau 6 – "No estudo dos processos de transporte ao nível da membrana celular, suas características, potencialidades e limitações, a ultraestrutura da membrana e a natureza das substâncias a transportar devem servir como fio articulador e integrador. O estudo destes conteúdos proporciona a planificação e execução de atividades laboratoriais simples, pelos alunos, que podem ser concebidas com diferentes graus de abertura." (*Programa de Biologia e Geologia*, 10.º ano, p. 81)

Nota. Adaptado de Castro (2015).

No excerto [15], apela-se ao trabalho em equipa, pelo que está presente a dimensão sociológica interna ao nível da categoria compreender (compreender a importância do trabalho em equipa no domínio da investigação científica). Esta unidade de análise foi classificada com o grau 2. O excerto [16] foi classificado com o grau 3, uma vez que sobressai a dimensão filosófica ao nível da categoria aplicar: recolher e/ou organizar e/ou interpretar dados de natureza diversa. No excerto [17], a metodologia sugerida apela a capacidades associadas à dimensão filosófica ao nível da categoria analisar, pela interpretação de dados experimentais (Grau 4). Finalmente, no excerto [18] as metodologias sugeridas apelam a capacidades metacientíficas associadas à dimensão filosófica ao nível da categoria criar, nomeadamente: planear procedimentos investigativos/experimentais para testar hipóteses. A atribuição do grau 6 a este excerto está relacionada com o facto de as atividades poderem ter diferentes graus de abertura e, no caso de serem muito abertas, apresentarem um maior grau de complexidade.

Através dos excertos dos instrumentos apresentados é, assim, possível proceder à análise da construção da ciência em diferentes textos e contextos. São diversos os estudos realizados pelo Grupo ESSA que podem ser indicados. Por exemplo, os princípios gerais e os princípios específicos de currículos foram investigados por Ferreira e Morais (2014) no 3.º ciclo e estão a ser investigados por Castro (2015) ao nível do ensino secundário; e os manuais escolares e as práticas pedagógicas foram investigados, respetivamente, nos estudos de Calado e Neves (2014) e de Alves e Morais (2014). Os processos de recontextualização foram também investigados, sendo transversais a todos esses estudos.

Análise de currículos e de manuais escolares – *Workshop*

De acordo com investigação recente realizada pelo Grupo ESSA (ex., Castro, 2015), o conceito de exigência conceptual, desenvolvido por Morais & Neves (2012), tem também sido aplicado na análise de conhecimentos e capacidades associados à construção da ciência. Assim, essa análise envolve a conceptualização de *o que* – complexidade dos conhecimentos e das capacidades metacientíficos – e de *o como* – grau de

relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos (Figura 3.7.). Este nível de exigência conceptual pode ser analisado em diferentes textos pedagógicos, nomeadamente os programas curriculares e os manuais escolares (ex., Castro, 2015; Ferreira & Morais, 2014). A análise do nível de exigência conceptual dos programas configura-se de grande importância, quer para os professores, quer para os autores dos manuais, já que estes, embora fazendo uma recontextualização desses programas, se constituem fundamentalmente como reprodutores do discurso pedagógico oficial que eles contêm. Também a análise do nível de exigência conceptual dos manuais escolares pode revelar-se de grande importância para os professores, uma vez que nas suas práticas pedagógicas o grau de recontextualização daquilo que é preconizado nos programas depende também, entre outros fatores, dos manuais escolares em que se baseiam.

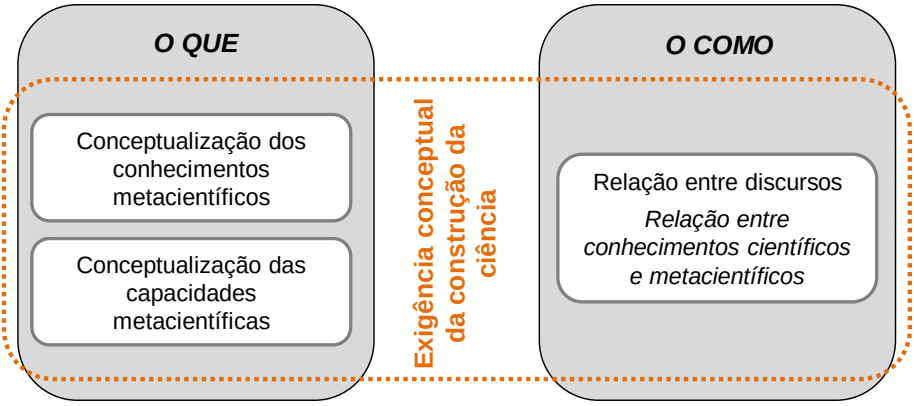


Figura 3.7. Parâmetros de exigência conceptual no âmbito da construção da ciência (adaptado de Morais & Neves, 2012 e de Castro, 2015).

Este *workshop* centra-se na análise da exigência conceptual ao nível da construção da ciência num excerto do programa de Biologia e Geologia do 11.º ano (DES, 2003) e numa atividade de um manual da mesma disciplina (Silva et al., 2009), ambos relativos à temática da evolução biológica. Para tal, recorre-se a instrumentos de análise produzidos no âmbito de alguns estudos realizados pelo Grupo ESSA (ex., Castro, 2006, 2015; Ferreira & Morais, 2014), previamente apresentados.

Desenvolvimento do *workshop*

Parâmetros e instrumentos de análise. O excerto selecionado do programa de Biologia e Geologia do 11.º ano (DES, 2003) insere-se na Unidade 7 – *Evolução Biológica*. Nesta, tal como nas outras unidades temáticas, os objetivos a atingir encontram-se organizados em diferentes conjuntos, nomeadamente *Conteúdos procedimentais* e *Conteúdos atitudinais*, sendo também apresentada uma secção de *Sugestões metodológicas*, que integra propostas de abordagem/exploração da temática em causa, em contexto de sala de aula. Para a análise a realizar no âmbito do *workshop* foram selecionados um objetivo integrado nos *Conteúdos procedimentais*, três objetivos integrados nos *Conteúdos atitudinais* e uma proposta de abordagem/exploração constante das *Sugestões metodológicas* (Tabela 3.13.). Cada um desses objetivos, bem como a proposta de exploração, representa uma unidade de análise.

A atividade selecionada no manual de Biologia e Geologia do 11.º ano vai ao encontro de um objetivo integrado nos *Conteúdos procedimentais* da Unidade 7 – *Evolução Biológica* e de dois objetivos que constam dos *Conteúdos atitudinais* da mesma unidade temática (Figura 3.8.). Estes dois últimos fazem parte do excerto do programa analisado. No caso da análise da natureza e do grau de conceptualização dos conhecimentos metacientíficos, cada questão da atividade, sem considerar as propostas de correção, é considerada como uma unidade de análise. No caso da avaliação do grau de relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos a atividade é tomada, na sua globalidade, como uma unidade de análise.

No âmbito deste *workshop* e tendo em consideração o tempo disponível, a análise da exigência conceptual ao nível de *o que* está centrada apenas nos conhecimentos metacientíficos e consiste na caracterização dos conhecimentos referentes à construção da ciência que são contemplados no excerto do programa e na atividade do manual. Analisa-se, por um lado, a natureza desses conhecimentos, ou seja, a que dimensão da construção da ciência pertencem, de acordo com a teorização de Ziman (1984) e, por outro lado, o seu nível de conceptualização. Quanto à análise

de *o como*, considera-se o grau de relação entre conhecimentos científicos e conhecimentos metacientíficos, enquanto traduzindo uma relação entre discursos de natureza intradisciplinar dado que correspondem a conhecimentos dentro da mesma disciplina.

Competência procedimental

Comparar e avaliar os modelos explicativos do aparecimento dos organismos unicelulares eucariontes.

Competências atitudinais

Valorizar o conhecimento da história da ciência para compreender as perspectivas actuais.

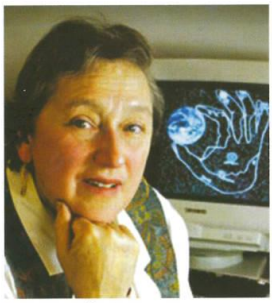
Reconhecer o carácter provisório dos conhecimentos científicos, bem como a importância epistemológica das hipóteses.

Resolvendo...

1. Ivan Wallin usou dados sobre o registo fóssil, enquanto que Margulis observou directamente os microrganismos, recorrendo ao microscópio.
2. Pelo facto destes organitos não conterem DNA e por não terem semelhanças ultra-estruturais com os seres procariontes.
3. As hipóteses e teorias elaboradas pelos cientistas sofrem modificações ao longo do tempo, fruto da evolução da tecnologia e da própria ciência, constituindo um conjunto de conhecimentos provisórios que são constantemente ajustados a novas realidades.
4. As teorias apresentadas não estavam suportadas por fortes evidências experimentais, mas o facto de levantarem hipóteses credíveis foram alvo de estudo e discussão entre a comunidade científica, contribuindo para o avanço significativo da ciência.
5. A ciência e a tecnologia são pilares do desenvolvimento científico sendo imprescindíveis para o seu desenvolvimento. Apenas com um microscópio electrónico Margulis e outros cientistas observaram com detalhe a ultra-estrutura dos organitos, essencial para a elaboração da teoria da endossimbiose.
6. O desenvolvimento de técnicas de análise de DNA que permitiram na década de 80 obter dados importantes para validar a teoria endossimbiótica.

CTS&A 1 Modelo endossimbiótico: uma perspectiva histórica

O biólogo norte-americano Ivan Wallin foi o primeiro cientista a afirmar, em 1920, que as mitocôndrias eram originárias de bactérias. No entanto, este cientista não foi capaz de apresentar todas as evidências científicas. As suas ideias foram refutadas e mesmo ridicularizadas. Os principais críticos da época consideravam que a evolução por simbiose era tão improvável como a deriva continental, que foi apresentada durante a década de 20!
Na década de 60, Lynn Margulis recuperou algumas ideias de Wallin e outros cientistas e publicou um artigo teórico sobre a origem das células eucarióticas. O artigo foi recusado por quinze revistas científicas e publicado no *The Journal of Theoretical Biology*, sendo considerado actualmente um dos mais importantes artigos da Biologia.



8 Lynn Margulis.

Para formular a sua teoria baseou-se em observações directas de microrganismos, em vez dos dados paleontológicos de Wallin. Margulis também sugeriu que o flagelo e cílios das células eucarióticas poderiam ter sido originários da simbiose com uma espiroqueta. No entanto, como os cílios não possuem DNA, e não possuem uma ultra-estrutura semelhante aos dos microrganismos que propôs, as suas conclusões não foram aceites pela comunidade científica da época.
A teoria da endossimbiose, formulada em 1967, realça a interdependência e a simbiose de múltiplos organismos procariontes. Estes podem ter entrado na célula hospedeira por ingestão ou enquanto parasitas. Com o tempo, teriam evoluído para uma relação mutuamente benéfica que se tornou mais tarde numa simbiose obrigatória. Esta cientista sugeriu ainda que a endossimbiose é uma das principais forças no processo evolutivo, tendo afirmado: "Os seres vivos não ocuparam o mundo pela força, mas por cooperação". Esta teoria foi suportada a partir da década de 80 pelo desenvolvimento das técnicas de análise de DNA, que permitiram estudar com detalhe o DNA mitocondrial e cloroplastidial. Os cientistas constataram que o material genético dos organitos é distinto do material nuclear e semelhante ao material genético dos microrganismos. A análise do genoma de organismos superiores, como por exemplo o Homem, permitiu detectar a existência de porções de material genético microbiano inserido em alguns cromossomas. Estes dados reforçam a teoria da endossimbiose.

1. Quais as principais diferenças nos dados usados por Wallin e Margulis?
2. Porque razão algumas das explicações para a origem dos cílios e flagelos não reúnem apoio na comunidade científica?
3. Em que medida os exemplos apresentados permitem perspectivar a ciência enquanto conjunto de conhecimentos provisórios?
4. Nem sempre as teorias formuladas são suportadas por fortes evidências científicas. Comente este facto com exemplos do texto, apontando a importância das hipóteses que foram sendo levantadas.
5. O microscópio electrónico desenvolvido na década de 50 foi um dos instrumentos utilizados por Margulis para observar a estrutura das células. Baseado neste exemplo, refira a importância da tecnologia no desenvolvimento do conhecimento científico.
6. Aponte um outro exemplo em que seja possível constatar a relação entre a ciência e a tecnologia.

Figura 3.8. Atividade apresentada num manual de Biologia e Geologia do 11.º ano de escolaridade (Silva et al., 2009).

Para essa análise recorre-se a instrumentos destinados à análise da natureza e do grau de conceptualização dos conhecimentos metacientíficos e à análise do grau de relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos. O instrumento, do qual se apresenta um excerto na Tabela 3.10., serviu como referencial de análise dos conhecimentos metacientíficos, quanto à dimensão da construção da ciência que contemplam e quanto ao seu grau de complexidade.

Tabela 3.10.
Excerto do instrumento referencial dos conhecimentos metacientíficos relativos à dimensão filosófica da ciência.[4]

CONHECIMENTOS SIMPLES (Factos generalizados e conceitos simples)	**CONHECIMENTOS COMPLEXOS** (Conceitos complexos e temas unificadores/teorias)
DIMENSÃO FILOSÓFICA Ciência enquanto processo dinâmico de construção do conhecimento que engloba metodologias diversas	
1- A construção do conhecimento científico é feita com recurso a métodos e princípios fundamentados na recolha, organização e interpretação de dados obtidos por métodos diversos. 2- O trabalho prático/experimental/laboratorial ou de campo obedece a regras de segurança e de natureza ética. 3- Uma hipótese consiste numa teoria ou numa formulação provisória, com vista a dar resposta a um determinado problema científico. 4- Podem existir diferentes hipóteses em resposta ao mesmo problema que, através da testagem e/ou da análise de dados recolhidos a partir da realidade envolvente, podem vir a ser apoiadas ou refutadas. 5- A ciência evolui em constante interrogação dos seus modelos e teorias, que vão sendo constantemente reformulados. 6- São usados conhecimentos de várias áreas científicas na construção de teorias e modelos científicos. 7- Em Ciência, novos dados conduzem à reformulação de conceitos e de teorias.	8- A construção do conhecimento científico engloba modelos, ou seja, representações do mundo, através das quais se procura simplificar a realidade para que esta possa ser analisada. 9- Todo o conhecimento científico é falível, isto é, só é válido enquanto não for refutado pela experiência e, por conseguinte, o conhecimento científico não se assume como absoluto, mas apenas como progressivo. 10-O conhecimento científico produzido insere-se em quadros teóricos mais amplos ou temas unificadores. 11- As teorias científicas constituem modelos imaginativos, por vezes suportados apenas por dados observacionais e assunções lógicas, que tem um grande poder explicativo e capacidade de previsão sobre a realidade.

Nota: Adaptado de Castro (2015) e de Ferreira e Morais (2014).

[4] O instrumento referencial contém descritores adaptados às outras dimensões da construção da ciência – histórica, psicológica e sociológica (interna e externa).

O instrumento de análise do grau de conceptualização dos conhecimentos metacientíficos, quando se considera cada uma das dimensões da construção da ciência, contém quatro graus e baseou-se em Cantu e Herron (1978) e em Brandwein e colaboradores (1980) (ver excerto do instrumento na Tabela 3.1.).

Para a avaliação do grau de relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos foi utilizado um instrumento baseado no conceito de classificação de Bernstein (1990), cujo excerto se apresentou na Tabela 3.4. Destaca-se que a classificação está relacionada com o estabelecimento de fronteiras mais ou menos acentuadas, neste caso, entre conhecimentos científicos e conhecimentos metacientíficos.

Análise dos textos. Procede-se à análise do excerto do programa de Biologia e Geologia do 11.º ano e da atividade do manual com vista à categorização das dimensões da exigência conceptual anteriormente explicitadas, recorrendo aos instrumentos que permitem a sua caracterização. Os textos já se encontram organizados em unidades de análise. Como referido anteriormente, por limitações de tempo, as análises sobre *o que* incidem apenas nos conhecimentos metacientíficos, não sendo avaliada a natureza e conceptualização das capacidades metacientíficas presentes nos textos. No que se refere à atividade do manual, é de sublinhar que a análise se centra nas questões apresentadas e não nas propostas de correção e que a avaliação do grau de relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos é feita de forma global para o conjunto de questões. Salienta-se ainda que, quando num mesmo excerto, e relativamente a uma mesma dimensão da construção da ciência (Ziman, 1984), estão presentes conhecimentos com diferentes níveis de conceptualização, considera-se a conceptualização que essa dimensão da construção da ciência assume no excerto correspondente ao maior grau de complexidade verificado. Após a análise pelos diferentes grupos, em cerca de 60 minutos, passa-se à sua discussão geral.

Discussão da análise dos textos. Procede-se à discussão geral da análise, colocando-se em confronto a análise efetuada pelos diferentes grupos, de modo a chegar-se a uma avaliação consensual. Com base nessa discussão,

bem como na análise que o grupo responsável por este *workshop* efetuou, chegou-se, no caso do programa, aos resultados apresentados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11.
Proposta de análise do excerto do programa de Biologia e Geologia do 11.º ano.

Unidade 7 – Evolução biológica **Extrato de texto**	**Análise**		
	Dimensões da construção da ciência e respetivos conhecimentos	**Complexidade dos CM**	**Relações entre CC e CM**
[1] Discutir a origem da multicelularidade tendo em conta a progressiva especialização morfofisiológica dos seres coloniais. (Conteúdos procedimentais, p. 11)	*Não tem conhecimento metacientífico.*	Grau 0	Grau 1 (C^{++})
[2] Valorização do conhecimento da história da ciência para compreender as perspetivas atuais. (Conteúdos atitudinais, p. 11)	**DH:** O processo de construção da ciência contempla a evolução histórica de conceitos e de modelos teóricos. Os métodos de estudo têm vindo a evoluir, promovendo, assim o desenvolvimento do conhecimento científico.	DH – Grau 2	Grau 4 (C^{--})
[3] Reconhecimento do carácter provisório dos conhecimentos científicos, bem como da importância epistemológica das hipóteses. (Conteúdos atitudinais, p. 11)	**DF**: Uma hipótese consiste numa teoria ou numa formulação provisória, com vista a dar resposta a um determinado problema científico. Podem existir diferentes hipóteses em resposta ao mesmo problema que, através da testagem e/ou da análise de dados recolhidos a partir da realidade envolvente, podem vir a ser apoiadas ou refutadas. Todo o conhecimento científico é falível, i.e., só é válido enquanto não for refutado pela experiência e, por conseguinte, o conhecimento científico não se assume como absoluto, mas apenas como progressivo.	DF – Grau 3 (opta-se pelo maior grau de complexidade)	Grau 2 (C^{+})
[4] Reconhecimento de que o avanço científico-tecnológico é condicionado por contextos (ex. socioeconómicos, religiosos, políticos...), geradores de controvérsias, que podem dificultar o estabelecimento de posições consensuais. (Conteúdos atitudinais, p. 11)	**DH:** O processo de construção da ciência é influenciado pelo contexto cultural, social, político e económico da época. A história da ciência é marcada por controvérsias que dividem os cientistas e a sociedade. **DSE**:	DH – Grau 2 DSE – Grau 4 (opta-se pelo maior grau de complexidade)	Grau 2 (C^{+})

	A aceitação social de novas teorias está dependente do contexto e ideologias de cada época – relação S-C. As controvérsias sociocientíficas são despoletadas pelos eventuais impactos sociais de inovações científicas e tecnológicas, que dividem tanto a comunidade científica como a sociedade em geral, envolvendo cientistas, decisores políticos e grupos de cidadãos – relação C-T-S.		
[5] Organização de atividades de pesquisa e discussão orientadas por questões, como por exemplo: "Como explicar a diversidade dos seres vivos? De que modo esta diversidade variou ao longo do tempo? Que interpretações têm sido avançadas?" A gestão dos trabalhos de pesquisa deve assegurar a análise e interpretação de dados relativos ao evolucionismo e argumentos que o sustentam, aproveitando para enfatizar os contributos da tecnologia e de outras áreas de saber – Física, Química, Geologia,... – na construção dos conhecimentos científicos. (Sugestões metodológicas, p. 11)	**DF:** São usados conhecimentos de várias áreas científicas na construção de teorias e modelos científicos. **DSE:** O desenvolvimento da tecnologia leva a novas investigações científicas e, consequentemente, ao desenvolvimento da ciência – relação T-C.	DF – Grau 2 DSE – Grau 2	Grau 3 (C^{-})

Legenda. CM- conhecimentos metacientíficos; CC- conhecimentos científicos; DH- Dimensão histórica; DF- Dimensão filosófica; DSE- Dimensão sociológica externa.

A análise da conceptualização dos conhecimentos metacientíficos no excerto do programa (Tabela 3.11.) permite verificar que os que dizem respeito à dimensão histórica da ciência revelam um nível conceptual mais baixo do que os que se relacionam com as dimensões filosófica e sociológica externa da ciência. De facto, enquanto todos os conhecimentos relativos à história da ciência correspondem a conceitos simples, com baixo nível de abstração (grau 2), no que se refere às metodologias e sociologia externa da ciência, para além de conceitos simples, também foram encontrados conhecimentos complexos, com um elevado nível de abstração: conceitos complexos (grau 3) e ideias estruturantes (grau 4).

No que se refere à relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos, outro dos aspetos em análise, verificam-se diferentes graus no extrato do programa (Tabela 3.11.). Estes vão desde a

classificação mais forte (C^{++}/Grau 1), em que não há sequer referência a conhecimentos metacientíficos, até à classificação mais fraca (C^{--}/Grau 4), em que não só é estabelecida relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos, como é atribuído igual estatuto a esses dois tipos de conhecimentos nessa relação.

A delimitação das unidades de análise a ter em consideração na avaliação, quer da natureza e conceptualização dos conhecimentos metacientíficos, quer do grau de relação entre estes e os conhecimentos científicos, é um dos aspetos que deve ser acautelado na análise de programas. No caso da avaliação do grau de relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos em excertos do programa que apenas contemplam conhecimento metacientífico, essas unidades de análise podem ser consideradas no conjunto dos conhecimentos científicos que integram cada unidade temática. No entanto, por restrições diversas, os excertos 3 e 4, que contemplam apenas conhecimentos metacientíficos, não foram considerados integrados no conjunto dos conhecimentos científicos da sua unidade temática para a análise da intradisciplinaridade. Foi-lhes assim atribuída uma classificação forte, de grau 2 (Tabela 3.11.), que pressupõe que estes excertos contemplam conhecimentos metacientíficos, mas não a relação entre estes e os conhecimentos científicos que integram a respetiva unidade temática.

É de salientar que, tendo-se selecionado um pequeno excerto de uma unidade temática do programa de Biologia e Geologia do 11.º ano, a análise desse texto não permite aferir quanto ao nível de exigência conceptual da globalidade do programa. No entanto, estes resultados vêm ao encontro de outros obtidos em estudos realizados pelo Grupo ESSA (ex., Castro, 2015), focados noutros textos pedagógicos, que também revelaram uma maior conceptualização da dimensão filosófica da ciência relativamente às outras dimensões da construção da ciência, bem como um baixo grau de relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos.

No caso da atividade do manual (Figura 3.8.), os resultados da análise estão apresentados na Tabela 3.12. Pode verificar-se que o nível de conceptualização dos conhecimentos metacientíficos relativos à dimensão

filosófica é mais elevado do que o que se verifica relativamente às outras dimensões da construção da ciência. Ao nível dessas dimensões são contemplados apenas conceitos simples, enquanto que no âmbito das metodologias da ciência, para além desses, também há referência a conceitos complexos. Há, no entanto, a assinalar que a análise da atividade incidiu apenas nos conhecimentos metacientíficos visados nas questões, não tendo sido consideradas as capacidades metacientíficas, cujo grau de complexidade também contribui para o nível de exigência conceptual da atividade. O grau de relação entre ciência e metaciência, avaliado no conjunto das questões que constituem atividade, é elevado, correspondendo à classificação mais fraca (C^{--}/Grau 4).

Tabela 3.12.
Proposta de análise da atividade do manual de Biologia e Geologia do 11.º ano.

	Análise		
Atividade	**Dimensões da construção da ciência e respetivos conhecimentos**	**Complexidade dos CM**	**Relações entre CC e CM**
Questão 1	*Não tem conhecimento metacientífico.*	Grau 0	Grau 4 (C^{--})
Questão 2	**DSI**: Dentro da comunidade científica existem por vezes teorias diferentes em resposta a um mesmo problema.	DSI – Grau 2	
Questão 3	**DF**: A ciência evolui em constante interrogação dos seus modelos e teorias, que vão sendo constantemente reformuladas. Todo o conhecimento científico é falível, i.e., só é válido enquanto não for refutado pela experiência e, por conseguinte, o conhecimento científico não se assume como absoluto, mas apenas como progressivo.	DF – Grau 3 (opta-se pelo maior grau de complexidade)	
Questão 4	**DF**: As teorias científicas constituem modelos imaginativos, por vezes suportados apenas por dados observacionais e assunções lógicas, que tem um grande poder explicativo e capacidade de previsão sobre a realidade.	DF – Grau 3	
Questão 5	**DSE:** O desenvolvimento da tecnologia leva a novas investigações científicas e, consequentemente, ao desenvolvimento da ciência – relação T-C.	DSE – Grau 2	
Questão 6	**DSE:** O desenvolvimento da tecnologia leva a novas investigações científicas e, consequentemente, ao desenvolvimento da ciência – relação T-C.	DSE – Grau 2	

Legenda. CM- conhecimentos metacientíficos; CC- conhecimentos científicos; DH- Dimensão histórica; DF- Dimensão filosófica; DSE- Dimensão sociológica externa.

Há ainda a referir um aspeto que é passível de colocar alguns constrangimentos na realização da atividade (Figura 3.8.) e que ilustra o que, por vezes, acontece na elaboração das questões de avaliação: a pergunta não é adequada à resposta pretendida. Por exemplo, na questão 2, apesar de se apelar à inter-relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos, a proposta de correção apenas contempla conhecimento científico, pelo que a resposta está incompleta, já que não considera essa interligação. Pelo contrário, na questão 3, a proposta de correção apresentada excede o que é considerado na pergunta. Atendendo à questão, somente se pode considerar a dimensão filosófica mas, na resposta, também é feita referência à dimensão sociológica externa, mais concretamente à relação entre a ciência e a tecnologia.

O conjunto das análises permitiu verificar que as dimensões da construção da ciência que mais se destacam são as dimensões histórica, filosófica e sociológica externa no excerto do programa e as dimensões filosófica e sociológica externa na atividade do manual. Estes resultados vêm ao encontro dos verificados em estudos que têm vindo a ser realizados pelo grupo ESSA (ex., Castro, 2015; Ferreira & Morais, 2014), de acordo com os quais as dimensões psicológica e sociológica interna são as que se encontram menos representadas nos programas e nos manuais escolares.

Verifica-se que este tipo de análise é passível de levantar algumas dificuldades, sobretudo no que se refere à categorização e avaliação do nível de conceptualização dos conhecimentos metacientíficos, o que se deve também às limitações de tempo disponível. Uma consulta mais detalhada do instrumento referencial dos conhecimentos metacientíficos (Tabela 3.10.), permitindo uma maior familiarização com a sua aplicação a diferentes tipos de textos, facilitará com certeza este tipo de análise, assim como a sua validação com outros investigadores.

Considerações finais

Através deste *workshop* é possível constatar que os instrumentos utilizados permitem analisar textos quanto ao nível de exigência conceptual sobre *o que* e sobre *o como* da construção da ciência, em

programas curriculares e em manuais escolares. Neste sentido, podem revelar-se muito úteis para os professores, já que é importante que estes disponham de ferramentas que lhes permitam avaliar a melhor forma de adaptarem os diferentes tipos de textos pedagógicos aos contextos de específicos da sua prática. Este processo passa desejavelmente pela avaliação do nível conceptual das aprendizagens que pretendem promover. Para além disso, atendendo a que os manuais escolares de uma dada disciplina representam a reprodução do discurso pedagógico oficial contido no programa dessa mesma disciplina, é importante que os professores possam comparar o nível de exigência conceptual preconizado nesses dois tipos de texto pedagógico. Esse confronto de dados poderá contribuir para minimizar o problema do baixo grau de explicitação dos programas relativamente à construção da ciência, revelado em diversos estudos do Grupo ESSA (ex., Castro, 2006; Ferreira & Morais, 2014) e contribuir para aumentar as possibilidades de compreensão, por parte dos professores, do que é preconizado nos programas e reproduzido nos manuais relativamente aos conteúdos metacientíficos.

De acordo com o conceito de exigência conceptual desenvolvido por Neves e Morais (2012), adaptado às dimensões da construção da ciência, promover a exigência conceptual a esse nível implica aumentar a conceptualização dos conhecimentos e das capacidades metacientíficas e promover a relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos. Esta promoção da exigência conceptual ao nível da construção da ciência pode comportar alguns constrangimentos, já que exige, da parte dos professores, formação adequada nesta área. Neste sentido, os instrumentos de análise utilizados neste *workshop*, ao permitirem avaliar esses aspetos da construção da ciência, podem contribuir para atenuar essas dificuldades, constituindo-se como um importante recurso de apoio ao trabalho dos professores. Para além disso, o trabalho desenvolvido neste *workshop* permite ainda constatar as potencialidades da conceptualização de Ziman (1984) na análise da construção da ciência em textos pedagógicos.

Resultados da investigação

Na sequência da plenária dedicada à conceptualização da construção da ciência (ver fundamentos e modelos de análise) e do trabalho desenvolvido no *workshop* relativo à análise desta vertente em currículos e manuais escolares, segue-se a apresentação de alguns resultados de uma investigação realizada ao nível do programa e dos manuais escolares de Biologia e Geologia do 10.º ano (Castro, 2015).

A problemática da construção da ciência nos programas curriculares e nos manuais escolares tem vindo a ser amplamente contemplada em diversos estudos (ex., Ferreira & Morais, 2014). O mesmo se passa com a problemática dos processos de recontextualização que se verificam quando se passa dos programas para os manuais, bem como dentro dos próprios programas (ex., Calado & Neves, 2014). Foi neste enquadramento que emergiu o problema geral de investigação que está na origem do estudo que se apresenta.

Esquema geral da investigação

Este estudo centra-se no discurso pedagógico que consta do programa de Biologia e Geologia do 10.º ano e em dois manuais dessa disciplina, no que diz respeito à construção da ciência. As várias etapas dessa investigação estão ilustradas no esquema apresentado na Figura 3.9. A análise realizada no âmbito deste estudo incidiu, quer no programa quer nos manuais, sobre *o que*, que diz respeito aos conteúdos metacientíficos a serem transmitidos/adquiridos e sobre *o como*, que se refere à forma como se deve processar essa transmissão/aquisição dos conteúdos metacientíficos.

A análise sobre *o que* consistiu na caracterização dos conteúdos referentes à construção da ciência que o programa preconiza que sejam desenvolvidos e nos que são contemplados nos manuais. Entenda-se por conteúdos metacientíficos o conjunto dos conhecimentos e das capacidades metacientíficos, que nesta investigação foram tratados em separado. Foram então analisados, por um lado, a natureza desses conteúdos, ou seja, a que dimensão da construção da ciência de acordo

com Ziman (1984) pertenciam e, por outro lado, o seu grau de complexidade. Quanto à análise sobre *o como*, considerou-se o grau de relação entre conhecimentos científicos e conhecimentos metacientíficos. Seguindo a perspetiva adotada em outros estudos (Morais & Neves, 2012), considerou-se que estas três dimensões de análise condicionam o nível de exigência conceptual da aprendizagem científica.

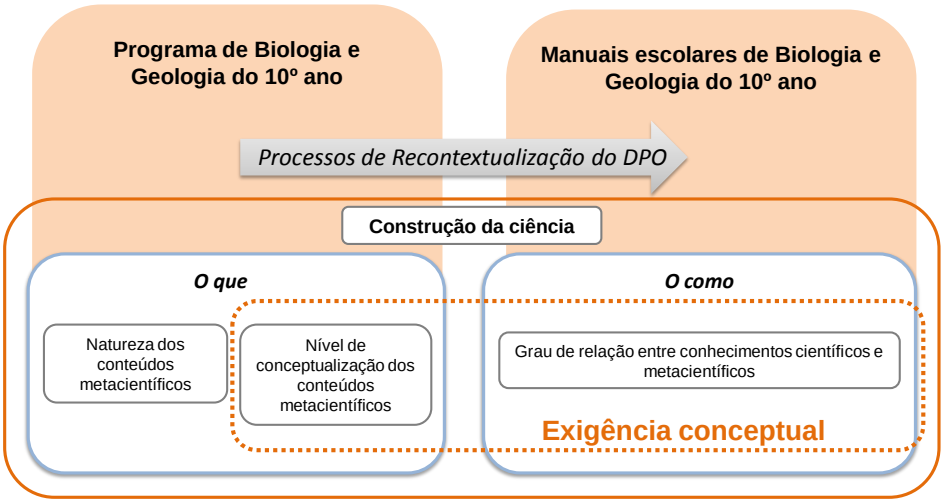


Figura 3.9. Esquema geral da investigação centrada na construção da ciência em currículos e manuais escolares (adaptado de Castro, 2015).

Na sequência da caracterização da natureza e da conceptualização dos conhecimentos e das capacidades referentes à construção da ciência, bem como do grau de relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos, determinou-se ainda a extensão e o sentido da recontextualização sofrida pelo discurso pedagógico oficial do programa, quando se passa deste para os manuais, tendo como referência os aspetos que foram analisados.

Análise do programa e dos manuais escolares

Na Figura 3.10. apresenta-se o esquema geral que, no âmbito da investigação realizada, orientou a análise do programa de Biologia e Geologia do 10.º ano (DES, 2001) e a análise dos manuais escolares selecionados[5]. Para essas análises foram construídos instrumentos que permitiram apreciar os vários aspetos referidos na Figura 3.9.: a natureza dos conhecimentos e das capacidades metacientíficos; o grau de conceptualização dos conhecimentos e das capacidades metacientíficos; e o grau de relação entre conhecimentos científicos e conhecimentos metacientíficos.

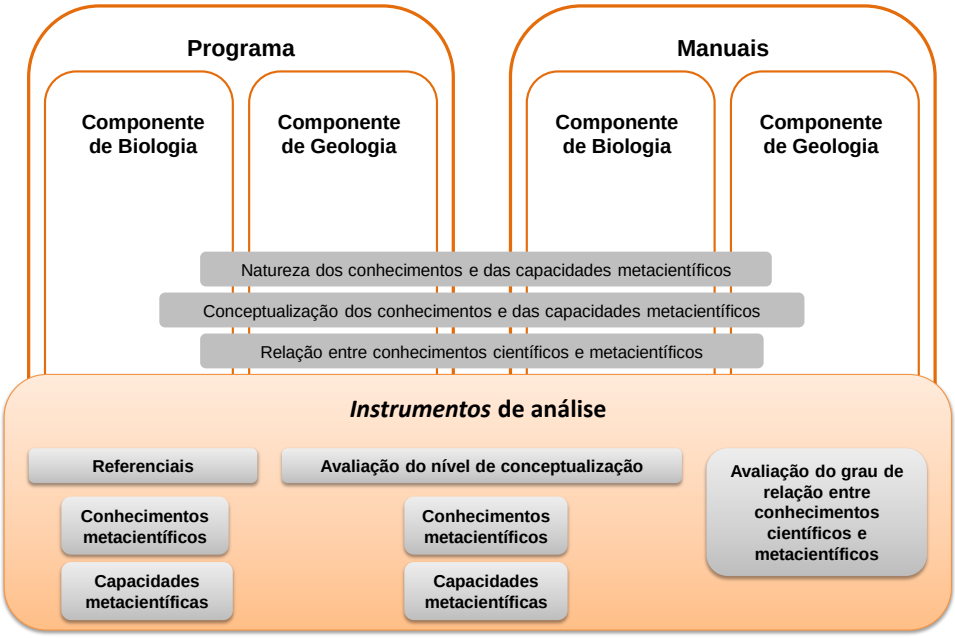


Figura 3.10. Esquema geral da análise do programa e dos manuais de Biologia e Geologia do 10.º ano (adaptado de Castro, 2015).

[5] Os manuais analisados foram selecionados com base no critério de escolha dos professores/escolas, tendo sido escolhidos os dois mais selecionados no ano letivo 2013/2014.

No contexto da análise do programa, é importante começar por referir que ele está dividido em duas componentes principais, a componente de Biologia e a componente de Geologia. Além disso, cada uma dessas componentes compreende uma primeira secção denominada "Apresentação do programa", relativa às linhas orientadoras gerais, e uma segunda secção denominada "Desenvolvimento do programa", que diz respeito às orientações específicas para o 10.º ano de escolaridade, consistindo, assim, na secção de operacionalização dos princípios gerais. Assim, a análise incidiu em cada uma dessas secções de cada componente do programa.

Foi ainda averiguado em que medida o discurso pedagógico oficial (DPO) do programa sofreu recontextualização quando se passa das suas linhas orientadoras gerais para as orientações específicas, no que se refere a estes aspetos da construção da ciência. Por fim, comparou-se, no que diz respeito a todos estes aspetos, as componentes de Biologia e de Geologia.

Quanto aos procedimentos inerentes a esta análise, há que referir que o programa, em cada uma das secções que constituem cada componente, foi dividido em unidades de análise (UA). Em cada UA foi verificado se existiam, ou não, conteúdos metacientíficos e, naquelas que os contemplavam, foi averiguado se esses conteúdos correspondiam a conhecimentos, a capacidades, ou a ambos. Assim, cada UA com conteúdos relativos à construção da ciência foi analisada com base num conjunto de instrumentos de análise (ver modelos de análise).

Para a análise da natureza dos conhecimentos e das capacidades metacientíficos, foram utilizados os instrumentos referenciais dos conhecimentos e das capacidades. Estes permitiram avaliar a que dimensão da construção da ciência de Ziman (1984) se referiam os conhecimentos e/ou as capacidades contemplados nessa UA. Para a análise do grau de conceptualização dos conhecimentos e das capacidades metacientíficos, foram utilizados um instrumento de avaliação do nível conceptual dos conhecimentos, baseado em Cantu e Herron (1978) e Brandwein e colaboradores (1980), bem como um instrumento de avaliação do grau de conceptualização das capacidades, baseado na

Taxonomia de Bloom (1974) revista por Anderson e Krathwohl (2001). Cada UA foi ainda sujeita à avaliação do grau de relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos, através de um instrumento de avaliação baseado no conceito de classificação de Bernstein (1990).

Para a análise dos manuais, relativamente a cada uma das suas componentes (Biologia e Geologia), foram utilizados instrumentos semelhantes aos construídos para o estudo do programa, tendo-lhes sido introduzidas as devidas adaptações em função do contexto da análise. O texto dos manuais também foi dividido em UA, com uma abrangência superior às do programa, dada a sua natureza diferente.

Alguns resultados da investigação

De seguida, apresentam-se alguns dos resultados obtidos nesta investigação ao nível da construção da ciência presente no programa e em dois manuais escolares da disciplina de Biologia e Geologia do 10.º ano.

Distribuição relativa dos conteúdos científicos e dos conteúdos metacientíficos. Os resultados apresentados na Figura 3.11. dizem respeito à distribuição relativa dos conteúdos científicos e dos conteúdos metacientíficos, no programa e nos dois manuais escolares de Biologia e Geologia do 10.º ano, não considerando ainda a separação entre conhecimentos e capacidades. Como evidenciam os dados do gráfico, verificam-se diferenças na expressão dos conteúdos metacientíficos entre o programa e os manuais, entre as duas componentes (Biologia e Geologia) do programa e dentro do próprio programa, consoante se trata das orientações gerais (Bg e Gg) ou das orientações específicas (B10 e G10). Já nos manuais, no que se refere a este aspeto, verifica-se uma maior coerência entre as suas duas componentes.

Os dados da Figura 3.11. mostram ainda que é na componente de Geologia do programa, sobretudo nas suas orientações gerais (Gg), que são encontrados mais conteúdos metacientíficos, seguindo-se a componente de Geologia do manual A. Estes resultados mostram assim que, em termos de presença de conteúdos metacientíficos, é na

componente de Geologia do programa e do manual A que é atribuída maior importância à construção da ciência.

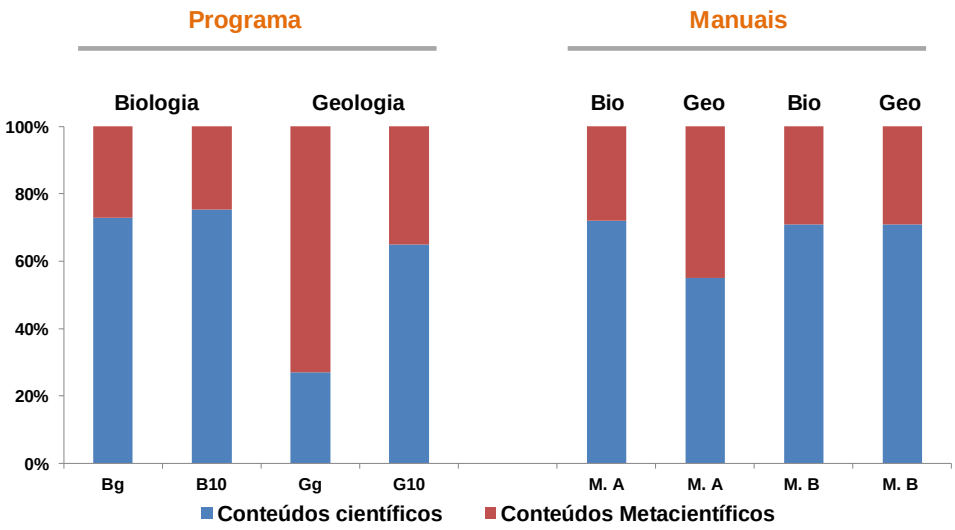


Figura 3.11. Distribuição relativa dos conteúdos científicos e dos conteúdos metacientíficos no programa e nos dois manuais escolares de Biologia e Geologia do 10.º ano (adaptado de Castro, 2015).

Conhecimentos e capacidades relativos à construção da ciência. Foram também apurados resultados que dizem respeito à distribuição relativa dos conhecimentos e das capacidades referentes à construção da ciência no programa e nos dois manuais escolares. O gráfico da Figura 3.12. diz respeito a esses resultados. O principal aspeto que se destaca da análise destes resultados é a acentuada discrepância entre o programa e os manuais relativamente à distribuição dos conhecimentos *versus* capacidades.

No programa, à exceção das orientações gerais da componente de Geologia (Gg), verifica-se uma maior percentagem de capacidades metacientíficas do que de conhecimentos metacientíficos, enquanto nos manuais acontece o oposto, sendo privilegiados os conhecimentos em

detrimento das capacidades. Também no programa se verificam disparidades acentuadas entre as suas duas componentes (Biologia e Geologia) relativamente a estes resultados. A componente de Biologia privilegia claramente as capacidades, sobretudo nas suas orientações específicas para o 10.º ano (B10), enquanto na componente de Geologia se verifica uma maior proximidade entre a expressão das capacidades e dos conhecimentos. Dentro de cada componente do programa também existe discrepância relativamente a este aspeto, quando se passa das orientações gerais para as orientações específicas. Na componente de Biologia aumenta a percentagem de capacidades e diminui a de conhecimentos, enquanto na componente de Geologia acontece o oposto. Estas discrepâncias significam que, no que se refere à construção da ciência, existem capacidades que implicam a mobilização de conhecimentos que não são assumidos na listagem de conteúdos do programa. Por outro lado, são referidos conhecimentos sem correspondência em capacidades, ficando assim por esclarecer o que se pretende com esses conhecimentos.

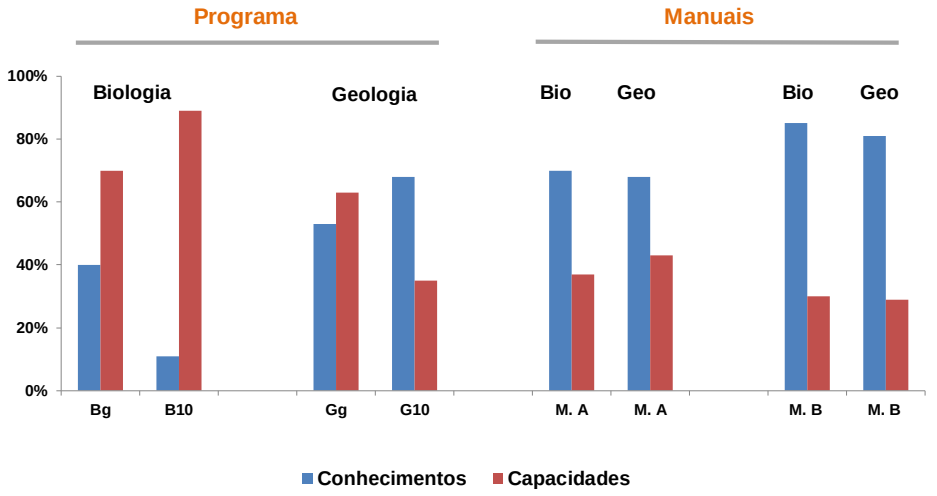


Figura 3.12. Distribuição relativa dos conhecimentos e das capacidades referentes à construção da ciência no programa e nos dois manuais escolares de Biologia e Geologia do 10.º ano (adaptado de Castro, 2015).

Natureza dos conhecimentos metacientíficos. A análise da natureza dos conhecimentos metacientíficos no programa consistiu na identificação das dimensões da construção da ciência de Ziman (1984) a que se referiam esses conhecimentos. Os resultados expressos na Figura 3.13. dizem respeito à distribuição das dimensões da construção da ciência na componente metacientífica do programa que contempla os conhecimentos.

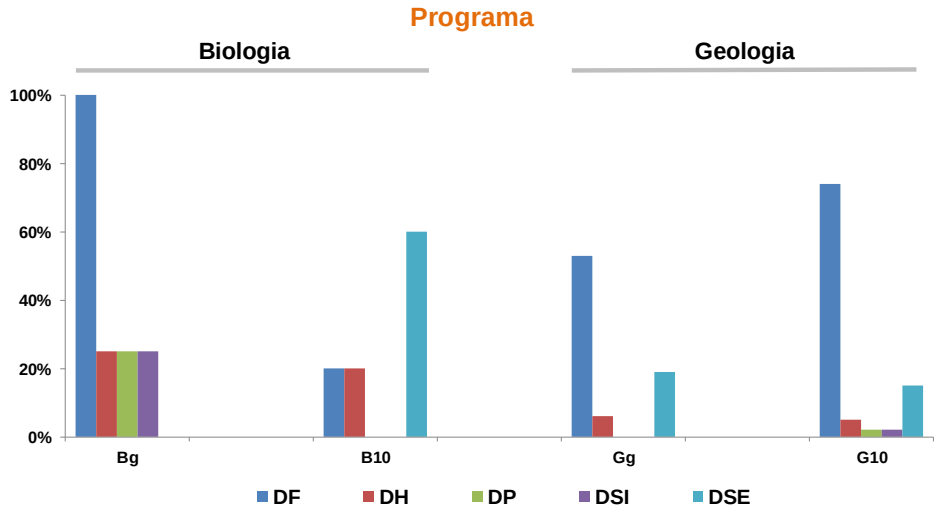


Figura 3.13. Distribuição das dimensões da construção da ciência ao nível dos conhecimentos presentes na componente metacientífica do programa de Biologia e Geologia do 10.º ano (adaptado de Castro, 2015).

Estes resultados evidenciam a prevalência da dimensão filosófica, nas duas componentes, o que significa que, ao nível dos conhecimentos metacientíficos, os aspetos da construção da ciência a que é atribuída mais importância no programa são os que dizem respeito às metodologias da ciência. Seguem-se as relações entre a ciência, a tecnologia e a sociedade (DSE), como a segunda dimensão da construção da ciência mais contemplada e a história da ciência (DH) em terceiro lugar. Já no que diz respeito às características psicológicas dos cientistas (DP), bem como às relações que se estabelecem dentro da comunidade científica (DSI), é

atribuída pouca importância. No entanto, há que ter em consideração que nas orientações gerais da componente de Biologia (Bg) apenas foram encontradas quatro referências a conhecimentos metacientíficos, o que relativiza estes resultados. Além disso, apenas existe uma referência a cada uma destas dimensões da construção da ciência (DH, DP e DSI) nesta secção do programa.

Outro aspeto que importa ressalvar é que são aqui bem patentes discrepâncias entre as orientações gerais e as orientações específicas de cada uma das componentes do programa, sobretudo na componente de Biologia. Estes dados mostram que não existe coerência entre o que está contemplado nas intenções expressas nas orientações gerais e as respetivas propostas de concretização que constam das orientações específicas. Está-se assim perante um processo de recontextualização do discurso pedagógico oficial quando se passa das orientações gerais para as orientações específicas.

Nos dois manuais, tal como no programa, procedeu-se também à identificação das dimensões da construção da ciência de Ziman (1984) a que se referiam os conhecimentos metacientíficos. Os resultados obtidos encontram-se expressos no gráfico da Figura 3.14. Pode verificar-se que em ambos os manuais, tal como no programa, prevalece claramente a dimensão filosófica (DF), sendo a dimensão sociológica externa (DSE) a segunda dimensão da construção da ciência mais contemplada. As restantes dimensões da construção da ciência (DH, DP e DSE) têm uma expressão baixa.

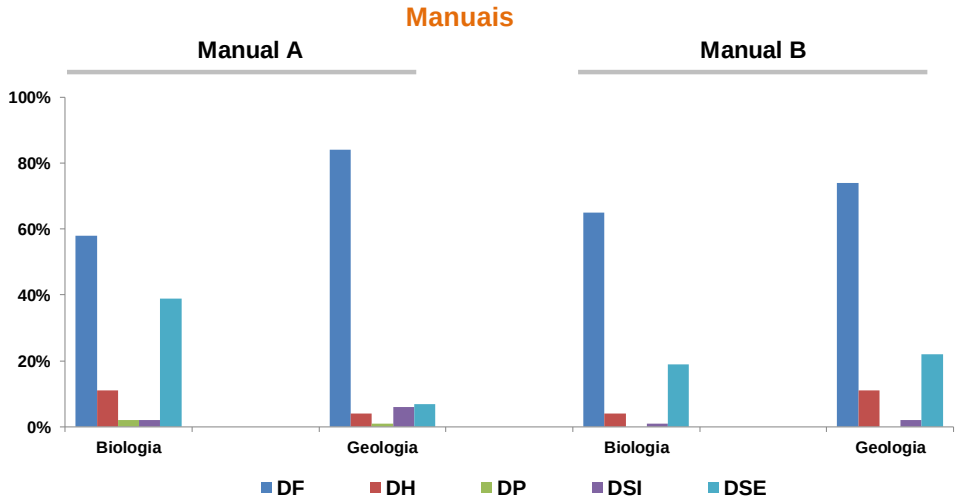


Figura 3.14. Distribuição das dimensões da construção da ciência ao nível dos conhecimentos presentes na componente metacientífica dos manuais de Biologia e Geologia do 10.º ano (adaptado de Castro, 2015).

Conceptualização dos conhecimentos metacientíficos. A caracterização do grau de conceptualização dos conhecimentos metacientíficos no programa e nos manuais escolares permitiu obter os resultados apresentados na Figura 3.15. Estes evidenciam um baixo grau de complexidade dos conhecimentos metacientíficos, sobretudo na componente de Biologia do programa e dos dois manuais, sendo assim a componente de Geologia a que revela maior conceptualização ao nível dos conhecimentos metacientíficos. De facto, está-se perante uma percentagem muito elevada de grau 2 de conceptualização, correspondente a conceitos simples com baixo grau de abstração, tendo os conhecimentos complexos (grau 3) uma expressão consideravelmente mais baixa[6].

[6] No caso das orientações gerais da componente de Biologia (Bg), estes resultados dizem respeito apenas a quatro referências a conhecimentos metacientíficos.

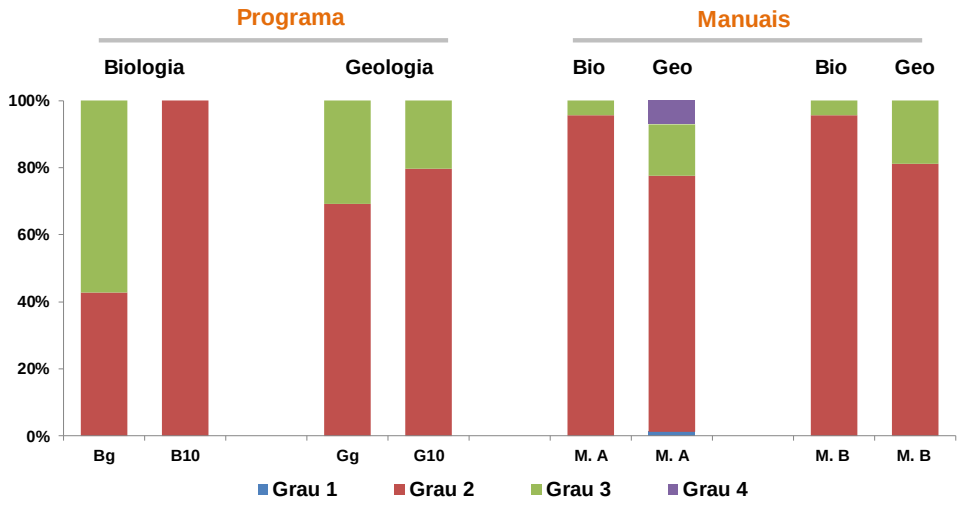


Figura 3.15. Grau de conceptualização dos conhecimentos metacientíficos no programa e nos dois manuais escolares de Biologia e Geologia do 10.º ano (adaptado de Castro, 2015).

Os dados expressos na Figura 3.15. também evidenciam a ocorrência de descontinuidades entre as mensagens dos diferentes textos. Por um lado, em cada componente do programa, quando se passa das intenções expressas nas orientações gerais para a sua concretização ao nível das orientações específicas, o grau de conceptualização dos conhecimentos metacientíficos baixa. Por outro, entre o programa e os manuais verifica-se uma diminuição da conceptualização dos conhecimentos metacientíficos, mais acentuada no caso do manual B.

Foram ainda considerados separadamente os graus de conceptualização das referências às dimensões filosófica e sociológica externa da ciência, as mais contempladas quer no programa quer nos manuais. Verificou-se que o grau de conceptualização dos conhecimentos relativos à sociologia externa da ciência é consideravelmente mais baixo do que o dos conhecimentos referentes às metodologias da ciência.

Natureza das capacidades metacientíficas. A identificação das dimensões da construção da ciência de Ziman (1984) a que se referiam as

capacidades metacientíficas constantes no programa permitiu obter os resultados expressos na Figura 3.16. A este nível verifica-se, à semelhança do que acontece com os conhecimentos, uma prevalência da dimensão filosófica, seguida da dimensão sociológica externa. Aliás, essa prevalência da dimensão filosófica é ainda mais acentuada do que no caso dos conhecimentos.

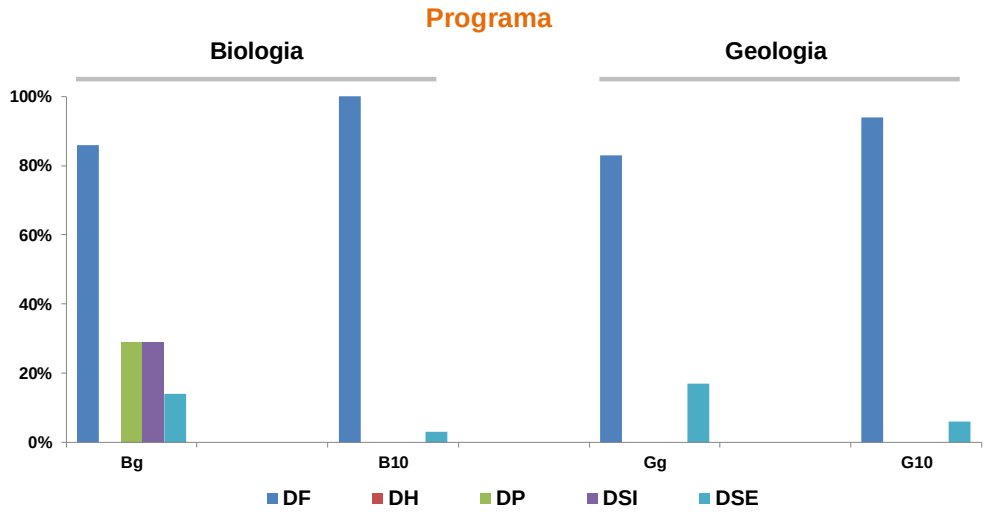


Figura 3.16. Distribuição das dimensões da construção da ciência ao nível das capacidades presentes na componente metacientífica do programa de Biologia e Geologia do 10.º ano (adaptado de Castro, 2015).

Verifica-se ainda uma menor presença de capacidades associadas às dimensões da construção da ciência do que ao nível dos conhecimentos. Quer isto dizer que, no que diz respeito à construção da ciência, o programa preconiza conhecimentos relativos a determinadas dimensões da construção da ciência que não são contemplados ao nível das capacidades, ficando assim por esclarecer que tipo de capacidades devem ser desenvolvidas com esses conhecimentos. Esta é uma dúvida com a qual professores e autores dos manuais escolares se podem confrontar, e que é passível de ter implicações quer ao nível da implementação do programa,

no caso dos professores, quer ao nível da sua reprodução por parte dos autores dos manuais escolares.

A análise da natureza das capacidades metacientíficas presentes no discurso pedagógico dos dois manuais, ou seja, a sua categorização de acordo com as dimensões da construção da ciência de Ziman (1984), conduziu à obtenção dos resultados expressos na Figura 3.17. Verifica-se, tal como no programa e à semelhança do que acontece com os conhecimentos, a prevalência da dimensão filosófica, seguida da dimensão sociológica externa.

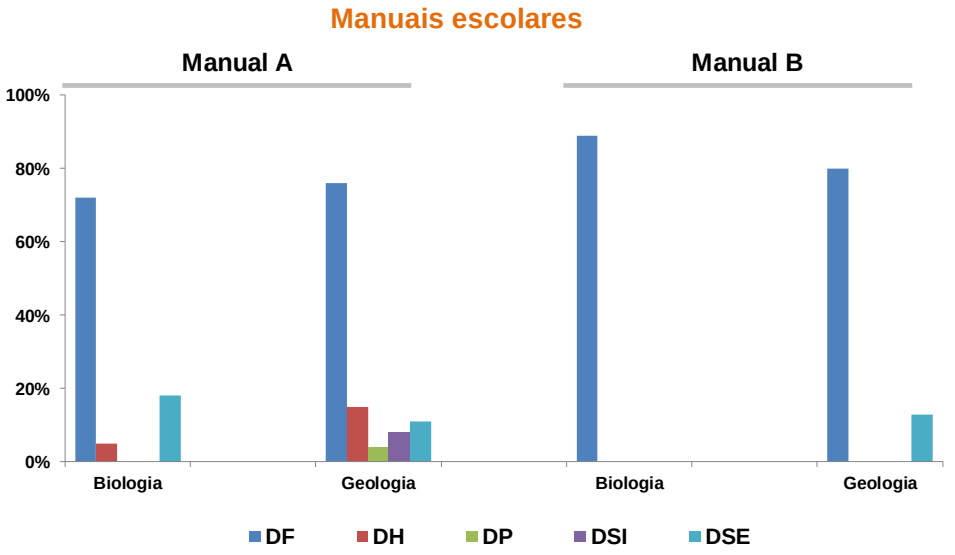


Figura 3.17. Distribuição das dimensões da construção da ciência ao nível das capacidades presentes na componente metacientífica dos manuais de Biologia e Geologia do 10.º ano (adaptado de Castro, 2015).

Destaca-se uma acentuada diferença entre os dois manuais relativamente à variedade de dimensões da construção da ciência que contemplam. No manual A verifica-se uma maior riqueza em dimensões da construção da ciência do que no manual B. Neste, todas as capacidades metacientíficas dizem respeito às metodologias da ciência na componente de Biologia

sendo que, na componente de Geologia, para além da dimensão filosófica, apenas é contemplada a dimensão sociológica externa e, mesmo assim, com uma baixa expressão. Também entre as duas componentes de cada manual se constatam diferenças relativas à diversidade de dimensões da construção da ciência que contemplam. Com efeito, em ambos os manuais a componente de Geologia integra uma maior diversidade de aspetos relativos à metaciência do que a de Biologia, apesar de esta diferença não ser muito acentuada no manual B.

Conceptualização das capacidades metacientíficas. A caracterização do nível de conceptualização das capacidades metacientíficas, no programa e nos manuais, permitiu obter os resultados apresentados na Figura 3.18. Estes evidenciam que a conceptualização das capacidades metacientíficas é superior à dos conhecimentos e mais elevada no programa do que nos manuais.

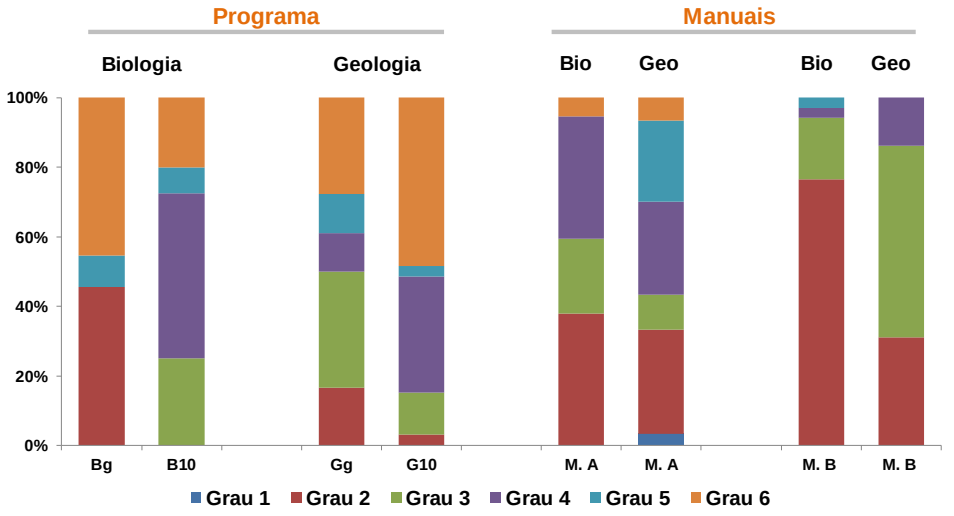


Figura 3.18. Grau de conceptualização das capacidades metacientíficas no programa e nos dois manuais escolares de Biologia e Geologia do 10.º ano (adaptado de Castro, 2015).

No programa, em cada uma das componentes de Biologia e Geologia, quando se passa das orientações gerais (Bg ou Gg) para as orientações específicas (B10 ou G10), aumenta o nível de conceptualização das capacidades (Figura 3.18.), acontecendo o oposto com os conhecimentos, cujo grau de complexidade baixa (Figura 3.15.). Também entre os manuais A e B se verifica uma diferença acentuada relativamente ao grau de conceptualização das capacidades metacientíficas, constatando-se que este é superior no manual A. Além disso, tanto nos manuais como no programa, tal como acontece com os conhecimentos, é na componente de Geologia que a conceptualização das capacidades relativas à construção da ciência é mais elevada.

Relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos. A relação estabelecida entre conhecimentos científicos e metacientíficos (intradisciplinaridade), ao atribuir significado às aprendizagens, condiciona a exigência conceptual na aprendizagem científica. O gráfico da Figura 3.19. diz respeito aos resultados da análise desse grau de relação ao nível do programa e dos manuais. Estes resultados revelam claramente que nos manuais o grau de relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos é superior.

No programa, em ambas as secções de cada componente, a percentagem de UA com classificação C^{+}, correspondente a ausência deste tipo de relações, é muito superior às encontradas nos manuais[7]. Verifica-se assim uma recontextualização do discurso pedagógico quando se passa do programa para os manuais, que se traduz no aumento do grau de relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos. Também no interior do programa, em ambas as componentes, quando se passa das orientações gerais para as orientações específicas, se constata a existência de recontextualização do discurso pedagógico relativamente a este aspeto,

[7] No instrumento utilizado para a análise da relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos a classificação extrema mais forte (C^{++}) foi considerada para os casos em que havia presença apenas de conhecimentos científicos (ver excerto do instrumento na Tabela 3.4.). O gráfico da Figura 3.11. apenas contempla os casos em que há presença de conhecimentos metacientíficos, não considerando a classificação C^{++}.

diminuindo o grau de relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos.

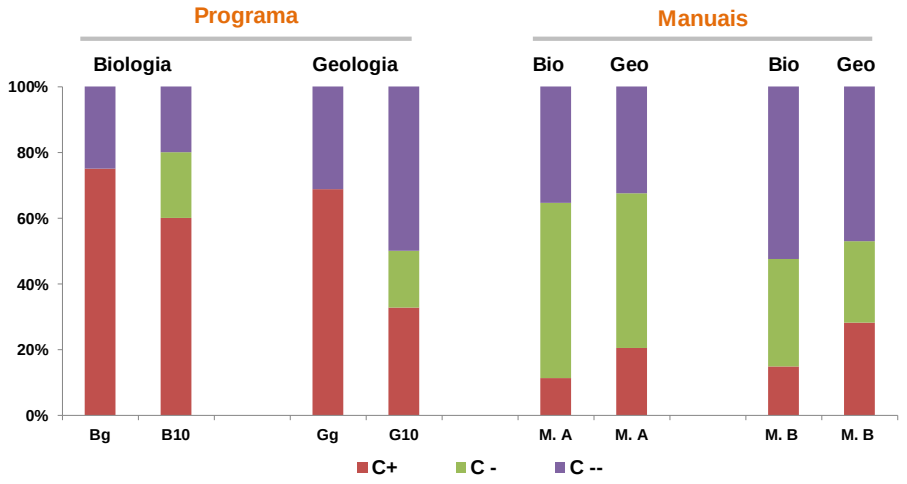


Figura 3.19. Grau de relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos no programa e nos dois manuais escolares de Biologia e Geologia do 10.º ano (adaptado de Castro, 2015).

As classificações C^- e C^{--} contemplam a presença de relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos. Os casos em que os conhecimentos científicos têm maior estatuto do que os conhecimentos metacientíficos nessa relação correspondem à classificação C^- e aqueles em que a esses dois tipos de conhecimentos é conferido igual importância nessa relação correspondem à classificação C^{--}. A situação ideal do ensino das ciências, em conformidade com o quadro teórico deste estudo corresponde à classificação C^-, verificando-se que esta tem maior expressão nos manuais do que no programa.

Considerações finais

Os resultados deste estudo revelam uma discrepância entre as componentes de Biologia e Geologia quanto à importância atribuída à construção da ciência, bem como quanto ao grau de conceptualização das

capacidades e dos conhecimentos metacientíficos. Tanto no programa como num dos manuais, a construção da ciência tende a ser mais valorizada e mais conceptualizada na componente de Geologia.

No que se refere à natureza dos conteúdos metacientíficos, verifica-se que tanto o programa como os manuais, quer ao nível dos conhecimentos quer ao nível das capacidades, privilegiam claramente as metodologias da ciência e, seguidamente, as relações que se estabelecem entre a ciência, a tecnologia e a sociedade, sendo os aspetos relativos às características psicológicas dos cientistas e às relações no seio da comunidade científica os menos contemplados. A este propósito é importante referir que uma grande parte das capacidades é de natureza investigativa, pertencendo à vertente prático/experimental e portanto à dimensão filosófica. Não obstante, esta parece ser uma opção mais baseada na importância da vertente prático/experimental ao nível cognitivo, do que na necessidade de incluir esse conteúdo metacientífico no ensino das ciências, enquanto parte integrante da construção da ciência.

A análise do grau de conceptualização dos conhecimentos e das capacidades relativos à construção da ciência permitiu constatar que, tanto no programa como nos manuais, o grau de complexidade dos conhecimentos é mais baixo do que o das capacidades. Esta diferença é mais acentuada no programa, onde se verifica um elevado grau de complexidade das capacidades metacientíficas. Quanto ao grau de relação entre conhecimentos metacientíficos e científicos, outro dos fatores que influencia a exigência conceptual da aprendizagem científica, verificou-se que este é acentuadamente mais baixo no programa do que nos manuais.

Este estudo revelou, ainda, a presença de processos de recontextualização dentro do próprio programa, entre os discursos pedagógicos das orientações gerais e das orientações específicas, e entre o discurso pedagógico do programa e o discurso pedagógico dos manuais. Em ambas as componentes do programa (Biologia e Geologia), quando se passa das orientações gerais para as orientações específicas, aumenta a conceptualização das capacidades metacientíficas e o grau de relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos, mas diminui a

conceptualização dos conhecimentos metacientíficos. Por outro lado, quando se passa do programa para os manuais, diminui a conceptualização dos conhecimentos e das capacidades metacientíficos mas aumenta o grau de relação entre conhecimentos científicos e metacientíficos.

Estas discrepâncias dentro do próprio programa, bem como entre as componentes de Biologia e Geologia, vão condicionar a interpretação que professores e autores dos manuais fazem do programa, estando normalmente na origem dos processos de recontextualização que se verificam aquando da sua implementação em contexto de sala de aula e da sua reprodução, em sede de elaboração de manuais. Professores e autores dos manuais são confrontados, por um lado, com orientações que se ficam apenas pelos princípios gerais, sem propostas de concretização, e, por outro lado, com propostas de operacionalização, a que podem não dar a devida importância porque estas não foram contempladas ao nível nas orientações gerais.

Referências

AAAS (American Association for the Advancement of Science). (1989). *Project 2061: Science for all Americans*. Washington, DC: AAAS.

AAAS (American Association for the Advancement of Science). (1993). *Benchmarks for science literacy*. Nova Iorque: Oxford University Press.

Aikenhead, G.S. (2000). Renegotiating the culture of school science. In R. Millar, J. Leach, & J.Osborne (Eds.), *Improving science education: The contribution of research* (pp. 245-264). Birmingham, UK: Open University Press.

Aikenhead, G.S. (2009). Os aspetos humanísticos e culturais do ensino da ciência & tecnologia. In G.S. Aikenhead, *Educação Científica: Para todos* (pp. 49-83). Ramada, Portugal: Edições Pedago, Lda.

Alves, V., & Morais, A. M. (2014). Currículo e práticas pedagógicas: Estudo no contexto das ciências do 3.º ciclo do ensino básico. In A. M. Morais, I. P. Neves & S. Ferreira (Eds.), *Currículos, manuais escolares e práticas pedagógicas: Estudo de processos de estabilidade e de mudança no sistema educativo* (pp. 241-263). Lisboa: Edições Sílabo.

Anderson, L. W., Krathwohl, D. (Eds.), Airasian, P., Cruikshank, K., Mayer, R., Pintrich, P., Raths, J., & Wittrock, M. (2001). *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives.* Nova Iorque: Longman.

Bernstein, B. (1990). *Class, codes and control: Vol. IV, The structuring of pedagogic discourse*. Londres: Routledge.

Bernstein, B. (1999). Vertical and horizontal discourse: An essay. *British Journal of Sociology of Education, 20*(2), 157-173.

Bernstein, B. (2000). *Pedagogy, symbolic control and identity: Theory, research, critique* (Revised edition). Nova Iorque: Rowman & Littlefield.

Brandwein, P., Cooper, E., Blackwood, P., Cottom-Winslow, M., Boeschen, J., Giddings, M., Romero, F., & Carin, A. (1980). *Concepts in science – Teacher's edition*. Nova Iorque: Harcourt Brace Jovanovich.

BSCS (Biological Sciences Curriculum Studies) (2011). *BSCS Biology: A human approach* (4ª ed.). Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company.

Calado, S., & Neves, I. P. (2014). Currículo e manuais escolares: Estudo no contexto das ciências do 3.º ciclo do ensino básico. In A. M. Morais, I. P. Neves & S. Ferreira (Eds.), *Currículos, manuais escolares e práticas pedagógicas: Estudo de processos de estabilidade e de mudança no sistema educativo* (pp. 241-263). Lisboa: Edições Sílabo.

Campbell, N., & Reece, J. (2008). *Biology* (8ª ed.). San Francisco: Pearson/ Benjamin Cummings.

Cantu, L. L., & Herron, J. D. (1978). Concrete and formal Piagetian stages and science concept attainment. *Journal of Research in Science Teaching, 15*(2), 135-143.

Caraça, J. (2004). The scientific condition. In Conference held at Calouste Gulbenkian Foundation, Lisbon, April 3 and 4, 2003, *Science meets society* (pp. 11-14). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Castro, S. (2006). *A construção da ciência na educação científica do ensino secundário – Análise do programa de Biologia e Geologia do 10.º ano.* Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Castro, S. (2015). *A construção da ciência na educação científica do ensino secundário: Análise dos manuais escolares e das conceções dos professores de Biologia e Geologia do 10.º ano*. Tese de Doutoramento, Instituto de Educação da Universidade de Lisboa (em desenvolvimento).

Clough, M. P., Olson J. K., & Niederhauser D. S. (2013). *The nature of technology. Implications for learning and teaching.* Rotterdam: Sense Publishers.

Comissão Europeia (2007). *Educação da ciência agora: Uma pedagogia renovada para o futuro da Europa*. Bruxelas: Comissão Europeia/Direcção-Geral de Investigação.

Curriculum Development Council and The Hong Kong Examinations and Assessment Authority (HKSARG). (2007/2014). *Science Learning.* Capturado em 2015, janeiro 27 de <http://www.edb.gov.hk/attachment/en/curriculum-development/kla/scienceedu/phy_c&a_guide _updated_e.pdf>.

DEB (Departamento de Educação Básica) (2002). *Orientações curriculares para o 3.º ciclo do ensino básico*. Lisboa: Ministério da Educação.

DES (Departamento do Ensino Secundário) (2001). *Programa de Biologia e Geologia – 10.º ou 11.º anos.* Lisboa: Ministério da Educação.

DES (Departamento do Ensino Secundário) (2003). *Programa de Biologia e Geologia – 11.º ou 12.º anos*. Lisboa: Ministério da Educação.

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.

Duschl, R., & Grandy, R. (2012). Two views about explicitly teaching nature of science. *Science & Education*. doi: 10.1007/s11191-012-9539-4.

Duschl, R., Schweingruber, H., & Shouse, A. (Ed.) (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grade K-8*. Washington: National Academies Press.

Ferreira, S., & Morais, A. M. (2014). A natureza da ciência em currículos de ciências: Estudo do currículo de Ciências Naturais do 3.º ciclo do ensino básico. In A. M. Morais, I. P. Neves & S. Ferreira (Eds.), *Currículos, manuais escolares e práticas pedagógicas: Estudo de processos de estabilidade e de mudança no sistema educativo* (pp. 79-105). Lisboa: Edições Sílabo.

Gil, F. (1999). A ciência e o problema da objectividade. In F. Gil (Coord). *A ciência tal qual se faz* (pp. 9-29). Lisboa: Edições João Sá da Costa.

Knorr-Cetina, K. (1999). A comunicação na ciência. In F. Gil (Coord.). *A ciência tal qual se faz* (pp. 375- 393). Lisboa: Edições João Sá da Costa.

Lederman, N.G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S.K. Abell & N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831–879). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, B. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, *39*, 497-521.

Martins, R. A. M., Silva, C. C., & Prestes, M. E. B. (2014). History and philosophy of science in science education, in Brazil. In Matthews, M. (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philodophy and Science Teaching* (pp. 2271-2299). Dordrecht: Springer.

Marzano, R. J., & Kendall, J. S. (2007). *The new taxonomy of educational objectives* (2ª ed.). Thousand Oaks, CA: Corwin Press.

Matthews, M. R. (Ed.) (2009). *Science, worldviews and education.* Dordrecht: Springer.

McComas, W. F. (2014). Nature of science in the science curriculum and in teacher education programs in the United States. In Matthews, M. (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philodophy and Science Teaching* (pp. 1993-2024). Dordrecht: Springer.

McComas, W.F., & Olson, J.K. (1998). The nature of science in international education standards documents. In W.F. McComas (Ed), *The nature of science in science education: Rationales and strategies* (pp. 53–70). Dordrecht: Kluwer.

McComas, W.F., Clough, M.P., & Almazroa, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. In W.F. McComas (Ed), *The nature of science in science education: Rationales and strategies* (pp. 3–39). Dordrecht: Kluwer.

Morais, A. M., & Neves, I. P. (2001). Pedagogic social contexts: Studies for a sociology of learning. In A. Morais, I. Neves, B. Davies & H. Daniels (Eds.), *Towards a sociology of pedagogy: The contribution of Basil Bernstein to research* (pp. 185-221). Nova Iorque: Peter Lang.

Morais, A. M., & Neves, I. P. (2012). Estruturas de conhecimento e exigência conceptual na educação em ciências. *Revista Educação, Sociedade & Culturas*, 37, 63-88.

NRC (National Research Council). (1996). *National Science Education Standards: observe, interact, change, learn.* Washington, DC: National Academy Press.

NRC (National Research Council). (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academy Press.

Nuffield Foundation (2015). *Practical physics. How science works*. Consultado em 2015, janeiro 27 <http://www.nuffieldfoundation.org/practical-physics/how-science-works>.

OCDE (2010). PISA 2009. *Assessment Framework - Key Competencies in Reading, Mathematics and Science*. Recuperado em Janeiro 15, 2011 de [http://www.oecd.org/document/44/0,3746,en_.html].

Quintanilha, A. (2003). [DVD]. Perfil biográfico de Alexandre Quintanilha. In *Despertar para a ciência. Ciclo de colóquios*. Lisboa: Gradiva

Roberts, D.A. (2007). Scientific literacy/science literacy. In S.K. Abell and N.G. Lederman (eds.), *Handbook of research on science education* (pp 729–780). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Saraiva, L. (2015). *Ensino das ciências na formação inicial de professores do 1.º ciclo do ensino básico: Contributos para uma mudança nas conceções sobre ciência e ensino das ciências.* Tese de Doutoramento, Instituto de Educação da Universidade de Lisboa (em desenvolvimento).

Silva, J. C., Ribeiro, E., & Oliveira, O. (2009). *Desafios – Biologia e Geologia, 11.º ano*. Lisboa: Asa Editores.

Watson, J. (1987). *A dupla hélice.* Lisboa: Gradiva.

Wong, S. L., Wan, Z. H., & Cheng, K.L. (2014). One Country, Two Systems: Nature of Science Education in Mainland China and Hong Kong. In Matthews, M. (Ed.*), International Handbook of Research in History, Philodophy and Science Teaching* (pp. 2149-2176). Dordrecht: Springer.

Vygotsky, L. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes.* Ed. M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Ziman, J. (1984). *An introduction to science studies: The philosophical and social aspects of science and technology*. Cambridge: Cambridge University Press.

Ziman, J. (2000). *Real science - What it is, and what it means*. Cambridge: Cambridge University Press.

PARTE IV

ELEVAR O NÍVEL DA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA

ALGUMAS PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA

Ana Maria Morais[1]
Isabel Pestana Neves[1]
Sílvia Ferreira[1]
Margarida Afonso[1]
Preciosa Silva[1]
Leonor Saraiva[1]
Sílvia Castro[1]

Os resultados de investigação, discutidos nas secções temáticas anteriores, refletem um baixo de nível de exigência conceptual em vários textos e contextos educativos – currículos, exames nacionais, manuais escolares e práticas pedagógicas. Torna-se, assim, fundamental uma reflexão sobre as mudanças que são necessárias fazer de modo a elevar o nível de exigência conceptual das temáticas que surgem nos documentos curriculares e da sua implementação na sala de aula. Nesse sentido, apresentam-se propostas de intervenção em sala de aula que ilustram níveis de conceptualização e coerência curricular (1) dos conhecimentos científicos, (2) das capacidades de processos científicos relacionados com o trabalho prático laboratorial e (3) da construção da ciência no ensino das ciências.

Existe um elemento comum às propostas que se apresentam. A título de exemplo, recorre-se à temática da inter-relação entre os processos de fotossíntese e de respiração. A escolha desta temática deveu-se, por um lado, ao facto de vários autores salientarem a sua importância no processo do ensino/aprendizagem das ciências, contribuindo para o desenvolvimento da literacia científica dos alunos (ex., Amir & Tamir, 1994; Millar & Osborne, 1998). Amir e Tamir (1994) consideram que o processo de fotossíntese é um dos tópicos em biologia mais importantes, devendo, por isso, ser ensinado na escola em diferentes níveis de ensino. De acordo com estes autores, a fotossíntese e a respiração são dois processos fundamentais que influenciam o ciclo de matéria e o fluxo de

[1] Investigadoras do Grupo ESSA (ver notas biográficas).

energia na biosfera. Para compreender de que forma um organismo, um ecossistema ou a biosfera funcionam, é necessário perceber as diferenças entre os dois processos metabólicos, bem como os aspetos que têm em comum e a inter-relação entre eles.

Por outro lado, a abordagem do conhecimento científico sobre a complementaridade entre os processos de fotossíntese e respiração no currículo de ciências assume especial importância quando vários estudos têm vindo a evidenciar que os alunos apresentam diversas conceções alternativas sobre esta temática (ex., Griffard & Wandersee, 2001). Melillán, Cañal e Veja (2006), numa revisão bibliográfica sobre este aspeto, enumeram diversas conceções alternativas que os alunos podem apresentar em relação aos conceitos de fotossíntese e respiração, destacando-se as seguintes: grande parte dos alunos pensa que as plantas obtêm todo o seu alimento do solo, através das suas raízes; desconhecem a função das folhas, pois, para muitos, estas servem para captar água da chuva ou para receberem os alimentos; confundem o papel do dióxido de carbono e do oxigénio; confundem fotossíntese com respiração; referem que a planta realiza a fotossíntese de dia e respira de noite; e poucos mencionam a produção de glícidos no processo de fotossíntese, em particular o amido. Estes estudos sobre as conceções alternativas colocaram em evidência que existem dificuldades para o processo de ensino/aprendizagem dos conceitos de fotossíntese e respiração, devido ao seu grau de complexidade. Mas será que, por isso, devem ser excluídos dos currículos de ciências? Considera-se que não. Esta é uma temática que pode, e deve, ser abordada no ensino básico, com as devidas adaptações aos diferentes níveis de escolaridade, porque é um assunto importante para os alunos que estão prestes a finalizar o ensino básico e que, se no ensino secundário não optarem por uma área científica, podem nunca mais ter a oportunidade de abordar e discutir aspetos relacionados com estes processos.

Conceptualização do conhecimento científico

A ciência inclui áreas de grande abrangência e poder unificador, como a Biologia, a Geologia, a Física e a Química, e que continuam a expandir-se a uma velocidade cada vez maior. Com base no que defendem Campbell e Reece (2008), relativamente à Biologia, a simples memorização dos detalhes factuais de áreas abrangentes como as áreas científicas, não é uma opção razoável. Nesse sentido, pode colocar-se a seguinte questão: De que modo o processo de ensino/aprendizagem pode ir além dos factos e desenvolver uma visão coerente da ciência? Tendo em consideração esta problemática, apresenta-se uma proposta de intervenção em sala de aula, em que se pretende mostrar de que forma se pode, ao nível da prática pedagógica, elevar o nível de exigência conceptual, em função dos vários níveis de escolaridade e estabelecer uma articulação e coerência conceptual entre esses níveis.

A proposta que se apresenta, apesar de centrada no 3.º ciclo do ensino básico, contém referências a alguns aspetos a ter em consideração no 1.º e 2.º ciclos, assim como no ensino secundário, salientando-se uma possível relação conceptual e processual entre os diferentes níveis de ensino. A fundamentação que lhe está subjacente, e que se situa no âmbito da área das Ciências Naturais, poderá ser transposta para outras áreas disciplinares.

Descrição da proposta para o 3.º ciclo

De forma a explorar uma determinada temática, com elevado nível de exigência conceptual, quer em termos de conhecimentos quer de capacidades, é indispensável começar por explicitar os conceitos que se pretende que os alunos adquiram. No caso da temática em foco, no contexto do 3º ciclo, o conceito global que os alunos deverão alcançar no final do processo de ensino/aprendizagem está relacionado com o fluxo de energia e o ciclo de matéria, ambos previstos no currículo de Ciências Naturais, quer no documento das Orientações Curriculares (DEB, 2002) quer no documento das Metas Curriculares (MEC, 2013), e é o seguinte: O fluxo de energia e o ciclo de matéria na Biosfera são assegurados pela

relação fotossíntese/respiração. A partir deste conceito global, é possível definir três conceitos principais (Campbell & Reece, 2008; Domingos, Neves & Galhardo, 1983):

(1) Em qualquer ecossistema ocorrem simultaneamente a fotossíntese e a respiração, estando o ciclo do oxigénio estreitamente ligado ao ciclo do carbono.

(2) A matéria orgânica que é fabricada através da fotossíntese, a partir da água e do dióxido de carbono, com simultânea libertação de oxigénio, é degradada através da respiração dos seres vivos da qual resulta água e dióxido de carbono que ficam novamente disponíveis para a fotossíntese (ciclo de matéria).

(3) A matéria orgânica, que é sintetizada pelos organismos fotossintéticos, contém energia química que tem origem na energia luminosa e que se liberta através da respiração para ser utilizada pelos seres vivos, dissipando-se sob a forma de calor (fluxo de energia).

Os conceitos apresentados são conceitos amplos que contêm conceitos de ordem mais baixa (ex., conceito de fotossíntese) e factos, que podem ser relembrados (prevendo-se que já tenham sido abordados no 2.º ciclo) ou que aparecem de novo. É importante salientar que não se pretende defender um ensino das ciências apenas caracterizado por elevados níveis de exigência conceptual. Deve, sim, existir um equilíbrio entre conhecimentos simples e complexos porque a compreensão de conhecimento complexo pressupõe a aquisição de conhecimento simples (Morais & Neves, 2012).

Para além da explicitação dos conceitos, é também fundamental planificar atividades que permitam explorar capacidades cognitivas de nível elevado (ver modelos de análise, Partes I e II). As atividades que se sugerem são atividades laboratoriais e a forma como são exploradas vai depender do nível de inquérito pretendido. De acordo com Bell e colaboradores (2005), essas atividades podem ser planificadas com diferentes graus de complexidade, no que respeita às capacidades envolvidas. Começando com atividades laboratoriais mais dirigidas pelo professor, em que é dada a

maior parte da informação ao aluno, os autores estabeleceram os seguintes níveis de inquérito: de confirmação, estruturado, guiado e aberto (ver Tabela 2.2., Parte II).

Na atividade de confirmação, os alunos conhecem os resultados pretendidos e o professor fornece a questão e o procedimento. Por exemplo, este tipo de atividades pode ser realizado no final de um capítulo para os alunos verificarem um conceito que já foi ensinado. Numa atividade de nível 2 (inquérito estruturado), os alunos investigam uma questão, seguindo um determinado procedimento, ambos apresentados pelo professor. As atividades destes dois níveis de inquérito são normalmente conhecidas como atividades laboratoriais tipo receita, uma vez que incluem instruções passo a passo. Pelo contrário, numa atividade de nível 3 (inquérito guiado) é solicitado ao aluno que elabore o procedimento de modo a responder à questão de investigação apresentada pelo professor. Numa atividade de nível 4, os alunos formulam as questões e elaboram os seus procedimentos. Bell e colaboradores (2005) defendem que a escala dos níveis de inquérito deve ser encarada como um contínuo, em que os alunos devem progredir gradualmente dos níveis mais baixos para os níveis mais elevados, ao longo de um ano letivo. Apesar de se pretender levar os alunos a desenvolverem capacidades envolvidas numa atividade de nível 4, não se pode esperar que comecem a partir desse nível elevado de inquérito. Do mesmo modo, como referem os autores, "não se pode esperar que os alunos conduzam investigações de inquérito de elevado nível depois de terem participado, ao longo do ano, exclusivamente em atividades de baixo nível" (p. 33). É necessário que ocorra uma progressão gradual para níveis elevados de inquérito, com a devida orientação do professor.

De forma a levar os alunos a compreender a inter-relação entre fotossíntese e respiração e, desta forma, a compreender que estes processos asseguram o ciclo de matéria e o fluxo de energia nos ecossistemas, como anteriormente explicitado, sugerem-se três atividades laboratoriais que podem ser exploradas com diferentes níveis de complexidade quanto às capacidades envolvidas.

A Figura 4.1. ilustra parte da montagem experimental da primeira atividade[2]. Esta atividade permite explorar a interdependência entre animais e plantas, evidenciada pelo facto de as plantas absorverem o dióxido de carbono (CO_2) libertado pelos animais. Nesta atividade está envolvida a interação de duas variáveis qualitativas: presença/ausência de luz e presença/ausência de planta. Recorre-se ao azul de bromotimol como indicador do CO_2, dado que muda de cor se o pH da solução se alterar (CIBT, 2008). É amarelo em soluções ácidas (presença de CO_2) e azul em soluções básicas (ausência de CO_2). Quanto aos seres vivos utilizados nesta atividade recorre-se a seres aquáticos – à planta da espécie *Elodea densa* e ao caracol da espécie *Planorbis sp*.

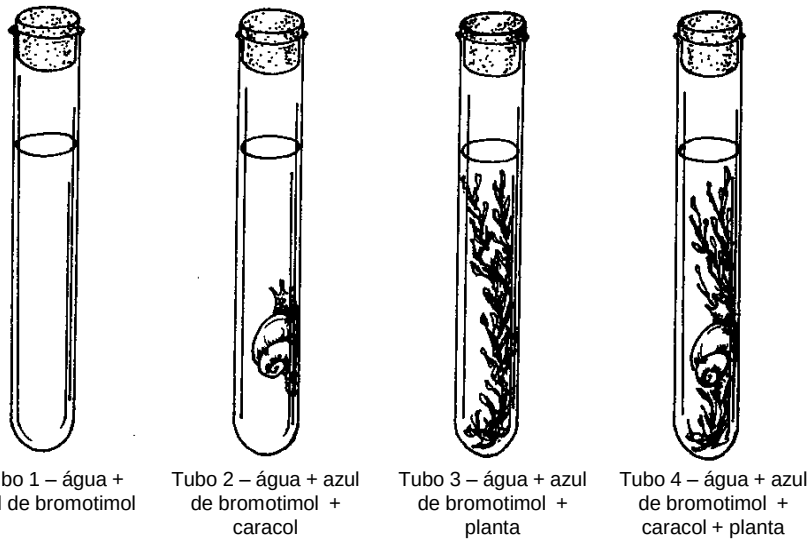


Figura 4.1. Montagem experimental da primeira atividade laboratorial (Domingos, Neves & Galhardo, 1983).

[2] A montagem experimental, tal como proposta por Domingos, Neves e Galhardo (1983), é colocada na presença constante de luz, por exemplo, com recurso a um candeeiro cuja distância em relação aos tubos de ensaio permita evitar o efeito de uma temperatura demasiado elevada. Para testar o efeito da variável luz na fotossíntese, usa-se outra montagem experimental, igual à anterior, mas em que cada um dos tubos de ensaio é completamente forrado com papel de alumínio e mantendo lado a lado os dois conjuntos de tubos.

Considera-se que será importante, para o desenvolvimento de capacidades cognitivas, nomeadamente de processos científicos, e de capacidades psicomotoras, que os alunos realizem esta atividade laboratorial. No entanto, na eventualidade dessa realização ser impossível, os alunos podem interpretar e discutir os resultados que poderiam obter após a realização da atividade (Tabela 4.1.). A exploração vai depender do nível de inquérito que, no caso desta atividade, pode, e deve, ser mais aberto.

Tabela 4.1.
Possíveis resultados da primeira atividade laboratorial.

Tubo	**Resultados** (cor do azul de bromotimol)	
	Luz	**Escuras**
1	Azul	Azul
2	Amarelo	Amarelo
3	Azul	Amarelo
4	Azul	Amarelo

Nota. Adaptado de Domingos, Neves e Galhardo (1983).

Na segunda atividade, em que se recorre a uma montagem experimental semelhante à anterior (Figura 4.1.), pretende-se que os alunos adquiram como ideia, associada à inter-relação entre fotossíntese e respiração, que as plantas expostas à luz libertam o oxigénio (O_2) que os animais consomem. Neste caso, em vez de azul de bromotimol, usa-se azul de metileno, que é um indicador de oxidação-redução. Na sua forma oxidada, num ambiente rico em oxigénio, tem cor azul e na forma reduzida fica incolor, o que acontece quando o oxigénio é consumido (ACC, 2006). Na Tabela 4.2. apresentam-se possíveis resultados desta atividade laboratorial.

Tabela 4.2.
Possíveis resultados da segunda atividade laboratorial.

Tubo	**Resultados** (cor do azul de metileno)	
	Luz	**Escuras**
1	Azul	Azul
2	Incolor	Incolor
3	Azul	Incolor
4	Azul claro	Incolor

A partir destas duas atividades, o professor, em discussão com os alunos, faz uma síntese dos resultados, para deixar explícita a relação entre fotossíntese e respiração, através da existência de fluxos de dióxido de carbono e oxigénio entre plantas e animais, na presença de luz. O esquema da Figura 4.2. traduz essa síntese e contém duas partes interligadas. A parte inferior da figura, relativa aos fluxos de dióxido de carbono, esquematiza a conclusão retirada dos resultados da primeira atividade. Os alunos verificaram que, na presença de luz, o dióxido de carbono libertado pelo caracol é utilizado pela planta, ou seja, o dióxido de carbono constitui um fluxo negativo para o caracol e, simultaneamente, um fluxo positivo para a planta. Retomando conhecimentos anteriores sobre fotossíntese e respiração, é estabelecida a relação entre estes fluxos e os dois processos vitais, tal como evidenciado no esquema. A parte superior da Figura 4.2., relativa aos fluxos de oxigénio, esquematiza a conclusão retirada dos resultados da segunda atividade. Com esta síntese, pretende-se explicitar um dos conceitos previamente estabelecidos e que está mais diretamente relacionado com o ciclo de matéria: Em qualquer ecossistema ocorrem simultaneamente a fotossíntese e a respiração, estando o ciclo do oxigénio estreitamente ligado ao ciclo do carbono.

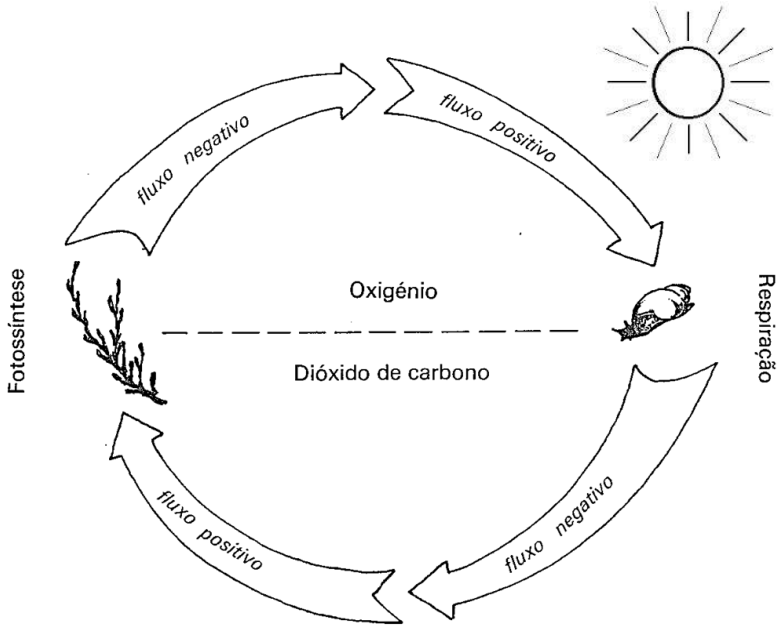


Figura 4.2. Fluxos de oxigénio e de dióxido de carbono entre animais e plantas, na presença de luz (adaptado de Domingos, Neves & Galhardo, 1983).

Segue-se uma terceira atividade, cuja montagem experimental e respetivos resultados estão representados na Figura 4.3. Através desta atividade laboratorial pretende-se evidenciar a libertação de calor durante a respiração das células de sementes em germinação. Tem, assim, como objetivo introduzir a ideia de fluxo de energia, de forma a que os alunos compreendam que, na respiração, a energia química da matéria orgânica dissipa-se parcialmente sob a forma de calor.

No 6.º ano de escolaridade, por exemplo através da realização da atividade laboratorial com as folhas de sardinheira, os alunos aprenderam que os organismos fotossintéticos produzem matéria orgânica, na presença de energia luminosa (DGEBS, 1991; MEC, 2013). A terceira atividade, que se propõe para o 3.º ciclo, constitui um exemplo de atividade que permite fazer a articulação com o conhecimento sobre fotossíntese adquirido no 2.º ciclo e completar a ideia relacionada com a inter-relação

fotossíntese/respiração e com o ciclo de matéria e o fluxo de energia na biosfera. O esquema apresentado na Figura 4.4. pode surgir como síntese das ideias discutidas na base das três atividades, permitindo explicitar os conceitos (2) e (3) previamente estabelecidos.

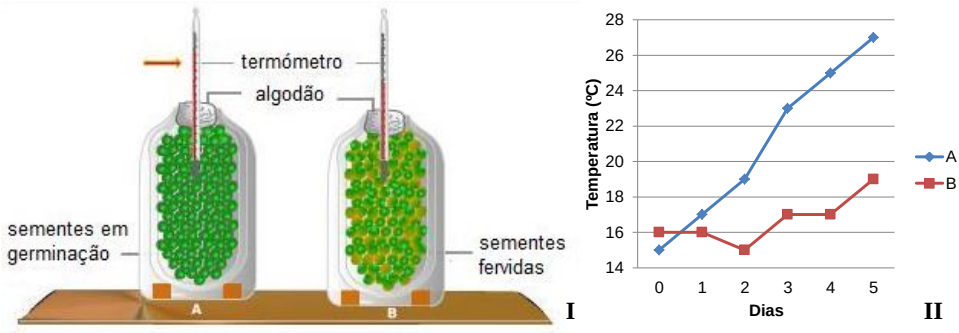


Figura 4.3. Montagem experimental (I) e possíveis resultados (II) da terceira atividade laboratorial (adaptado de Steane, s.d.).

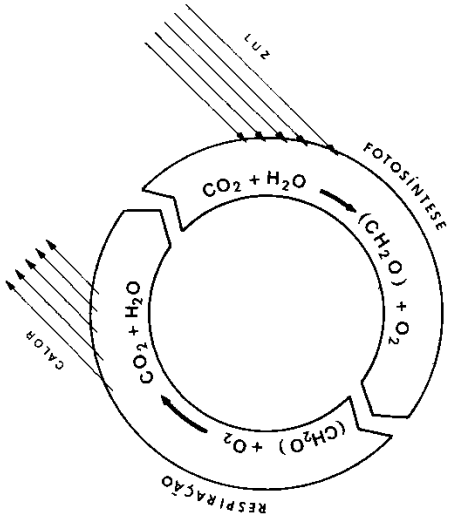


Figura 4.4. Inter-relação entre os processos de fotossíntese e de respiração (Domingos, Neves & Galhardo, 1983).

Coerência curricular da temática inter-relação fotossíntese/respiração

As atuais Metas Curriculares de Ciências Naturais do 3.º ciclo (MEC, 2013, 2014) estabelecem dois objetivos gerais relativos ao fluxo de energia e aos ciclos de matéria nos ecossistemas: Objetivo 7. Compreender a importância dos fluxos de energia na dinâmica dos ecossistemas; e Objetivo 8. Sintetizar o papel dos principais ciclos de matéria nos ecossistemas. Tendo em consideração estes objetivos, é possível verificar que, embora o conceito de fotossíntese esteja presente nas Metas Curriculares, ele é referido de um modo muito genérico (apenas no descritor 8.1.) e que a inter-relação fotossíntese/respiração não está enunciada. Se os professores não estiverem atentos a este aspeto, de forma a recontextualizarem a mensagem das metas curriculares nas suas práticas, considera-se que o estudo do fluxo de energia e do ciclo de matéria dos ecossistemas poderá ficar comprometido, uma vez que é a complementaridade entre os processos de fotossíntese e de respiração que assegura a sua existência.

Ao contrário do que se verifica nas atuais metas curriculares para as Ciências Naturais dos 2.º e 3.º ciclos (MEC, 2013, 2014), Bybee (2003) destaca a importância dos currículos de ciências apresentarem coerência conceptual. Tal como o autor refere, "muitos currículos de ciências perderam a visão de uma estrutura curricular clara e consistente, com base em esquemas conceptuais. Em vez disso, existem aglomerados curriculares baseados numa diversidade de atividades a que falta coerência conceptual" (Coherence, para.2).

De forma a evidenciar, a título de exemplo, a articulação vertical que deve estar presente, nos currículos, entre os vários níveis de escolaridade, para que seja possível obter coerência conceptual no quadro de um currículo em espiral (ver fundamentos teóricos, Parte I), apresenta-se o esquema da Tabela 4.3. No esquema dá-se relevo a três aspetos fundamentais a ter presente na articulação vertical pretendida, nomeadamente a explicitação dos conceitos, exemplos de exploração e níveis de organização biológica. A seta, ascendente e descendente, em relação ao 3.º ciclo (onde se situou a

proposta de intervenção) pretende traduzir a existência dessa articulação. Com este conjunto, pode ter-se uma ideia da diferença na conceptualização do conhecimento (neste caso, relação entre fotossíntese e respiração) através da explicitação dos conceitos em função dos níveis de escolaridade. Os exemplos de exploração ajudam a relacionar os conceitos com a forma de os abordar, sem haver repetições de atividades em níveis diferentes de escolaridade. Quanto aos níveis de organização biológica[3], a sua referência permite indicar o nível de organização mais representado[4] em cada nível de escolaridade.

Tendo em consideração os conceitos já focados para o 3.º ciclo (Tabela 4.3.), julga-se que, no 2.º ciclo, os processos de fotossíntese e de respiração devem ser estudados sem se evidenciar a sua relação com o fluxo de energia e o ciclo de matéria nos ecossistemas. Podem ser realizadas atividades que, por exemplo, relacionem a libertação de oxigénio e o consumo de dióxido de carbono com a fotossíntese e a libertação de dióxido de carbono e consumo de oxigénio com a respiração. Enquanto no 3.º ciclo, a inter-relação fotossíntese/respiração é estudada ao nível da organização biológica do ecossistema, no 2.º ciclo esses processos seriam estudados ao nível do organismo. No 1.º ciclo, os conceitos de fotossíntese e respiração devem ser abordados a um nível nominal, ou seja, o aluno está apenas consciente dos conceitos mas ainda não construiu um significado adequado desses conceitos (Tabela 4.4.). Neste nível de escolaridade, estes processos seriam apenas relacionados com alguns dos fatores abióticos que os alunos estudam. A abordagem continua a situar-se ao nível da organização biológica do organismo.

[3] Campbell e Reece (2008), por exemplo, apresentam 10 níveis de organização biológica: biosfera; ecossistema; comunidade; população; organismo; órgão; tecido; célula; organelo; molécula.

[4] Além dos níveis de organização biológica indicados, outros podem estar presentes, em cada nível de escolaridade, como por exemplo no caso do ecossistema, estarem também incluídos a comunidade e a população.

Tabela 4.3.
Coerência curricular da temática inter-relação fotossíntese/respiração em vários níveis de escolaridade.

Nível de escolaridade	Explicitação dos conceitos	Exemplos de exploração	Níveis de organização biológica
Ensino secundário	Fotossíntese: A energia luminosa é convertida em energia química que é armazenada em compostos orgânicos (inclui as reações fotoquímicas e o ciclo de Calvin). Respiração celular: Através de vias catabólicas de respiração aeróbia e anaeróbia, as moléculas orgânicas são degradadas com produção de ATP (inclui a glicólise, o ciclo de Krebs e a fosforilação oxidativa).	Fotossíntese: relacionar a taxa fotossintética com a intensidade luminosa, mediada, por exemplo, pela temperatura e CO_2. Relação fotossíntese/respiração: relacionar o ciclo de Calvin com o ciclo de Krebs.	Celular Molecular
3.º ciclo	O fluxo de energia e o ciclo de matéria na Biosfera são assegurados pela relação fotossíntese/respiração.	No estudo dos ecossistemas, relacionar o ciclo de matéria e de energia com a inter-relação fotossíntese/respiração.	Ecossistema
2.º ciclo	Fotossíntese: Em presença da luz, os seres vivos com clorofila, consomem CO_2 e libertam o O_2 e, neste processo, fabricam matéria orgânica. Respiração: Os seres vivos utilizam O_2 e libertam CO_2 e, neste processo, asseguram a sua sobrevivência.	No estudo da diversidade de plantas e animais, relacionar a libertação de O_2 e o consumo de CO_2 com a fotossíntese e o consumo de O_2 e a libertação de CO_2 com a respiração.	Organismo
1.º ciclo	Fotossíntese: As plantas precisam de água, sais minerais e luz para sobreviverem. Respiração: Os seres vivos precisam de oxigénio para sobreviverem.	No estudo dos fatores ambientais, relacionar alguns fatores abióticos (água, sais minerais, luz, temperatura, oxigénio) com a vida das plantas e dos animais.	Organismo

No outro extremo, no ensino secundário, a abordagem de cada um dos conceitos (fotossíntese e respiração celular) deve ser mais aprofundada que no 3.º ciclo, envolvendo as diferentes etapas das reações químicas de cada um dos processos (Tabela 4.3.). A este nível, a inter-relação fotossíntese/respiração é estudada aos níveis molecular e celular de organização biológica. Além disso, o aluno deverá alcançar um nível multidimensional de alfabetismo científico no que se refere ao conceito de fotossíntese, ou seja, o aluno tem um conhecimento abrangente, detalhado e inter-relacionado do conceito (Tabela 4.4.).

Tabela 4.4.
Nível de alfabetismo científico do conceito de fotossíntese em vários níveis de escolaridade

	Nível de escolaridade	**Nível de alfabetismo científico** (ex., conceito de fotossíntese)
↑	Ensino secundário	**Multidimensional** O aluno tem um conhecimento abrangente, detalhado e inter-relacionado do conceito.
	3.º ciclo	**Estrutural** O aluno constrói um significado adequado do conceito.
	2.º ciclo	**Funcional** O aluno é capaz de definir o conceito.
↓	1.º ciclo	**Nominal** O aluno está consciente do conceito.

Nota. Adaptado de BSCS (1995, 2009).

A coerência curricular, quer vertical quer horizontal, que se defende nesta proposta de intervenção, tem vindo a ser posta em causa nos currículos de ciências, devido a várias inconsistências que neles estão frequentemente presentes. Bybee (2003) destaca quatro críticas aos currículos de ciências:

1. Ausência de conteúdo desafiador: demasiada ênfase em factos e ausência de uma orientação conceptual dos currículos de ciências. Muitas vezes os currículos apresentam uma panóplia de tópicos, que até podem

ser interessantes, mas que não enfatizam os conceitos e processos fundamentais.

2. Ausência de um foco instrucional: ausência de profundidade no tratamento dos conteúdos.

3. Tempo inadequado de aprendizagem: tempo reduzido e inadequado no caso de alguns conceitos e demasiado tempo no caso de outros.

4. Ausência de relações verticais e horizontais dos conteúdos: ausência de relações entre conhecimentos científicos e processos científicos nas dimensões horizontal e vertical do currículo.

De acordo com o autor, numa perspetiva que se considera correta, o efeito cumulativo destes aspetos dá origem a resultados mais baixos dos alunos, nomeadamente nas avaliações externas nacionais e internacionais. Mas, mais importante, a ausência de coerência curricular baixa o nível de aprendizagem dos alunos, o que exige uma ação intencional dos professores para reverter essa situação.

Conceptualização das capacidades de processos científicos

Resultados de investigação de diversos estudos têm evidenciado um baixo nível de exigência conceptual do trabalho prático, encarado no seu sentido mais amplo, nas práticas pedagógicas dos diferentes níveis de ensino do sistema educativo português (ex., Chagas & Oliveira, 2005; Ferreira & Morais, 2015). Importa refletir sobre as mudanças que são necessárias fazer de modo a elevar o nível de exigência conceptual do trabalho prático, nomeadamente laboratorial investigativo, expresso nos documentos curriculares e da sua implementação na sala de aula. Nesse sentido, pode colocar-se a seguinte questão: como conceber atividades laboratoriais, para alunos dos diferentes níveis de escolaridade, que permitam uma aprendizagem conceptualizada quanto a capacidades de processos científicos? Tendo em consideração esta problemática, apresentam-se propostas de trabalho laboratorial, em que se pretende mostrar de que forma se pode, ao nível da prática pedagógica, elevar o nível de exigência conceptual desse trabalho prático, em função dos vários

níveis de escolaridade e estabelecer uma articulação e coerência conceptual entre esses níveis. Dando continuidade à proposta de mudança anterior, recorre-se, a título de exemplo, à temática da inter-relação entre os processos de fotossíntese e de respiração, com uma ênfase particular na fotossíntese. Além disso, a apresentação das propostas estará centrada nas capacidades de processos científicos.

Relativamente aos processos científicos, considera-se que, mesmo ao nível do ensino básico, o professor deverá promover a interação de variáveis, quer qualitativas quer quantitativas, ainda que essa interação possa não ser complexa. No ensino secundário, essa interação de variáveis, sobretudo quantitativas, deve ser mais complexa, nomeadamente pelo facto de se jogar mais com variáveis mediadoras. Salienta-se ainda que, em todos os níveis de escolaridade, o professor deve orientar a realização de atividades que mobilizem capacidades de processos científicos, como a formulação de problemas, formulação de hipóteses e de previsões, planeamento experimental e interpretação de resultados. Todas estas capacidades podem, e devem, ser desenvolvidas em todos os níveis de escolaridade, desde o 1.º ciclo ao ensino secundário, mas com níveis crescentes de complexidade, tal como se mostra na Tabela 4.5. Isto significa que, por exemplo, os problemas formulados por alunos do ensino secundário serão mais complexos do que os problemas apresentados e/ou formulados pelos alunos do 1.º ciclo.

De seguida, apresentam-se quatro situações problemáticas diferentes, uma para cada nível de escolaridade, desde o 1.º ciclo do ensino básico ao ensino secundário. Apresentam-se também os problemas investigativos e as hipóteses a que essas situações podem dar origem e atividades laboratoriais que podem ser feitas para dar resposta a esses problemas. Salienta-se que não se pretende que as atividades laboratoriais propostas deem toda a resposta a um determinado problema e/ou levem à apreensão de determinado conceito. Nesse sentido, essas atividades devem ser complementadas com outras atividades laboratoriais ou outro tipo de atividades. Além disso, as atividades laboratoriais podem apresentar diferentes graus de abertura consoante o conhecimento dos alunos quanto aos processos científicos. Por exemplo, podem ser os alunos a formular o

problema, com orientação do professor, ou no início do ano letivo o problema pode ser apresentado e explicado pelo professor (antes de serem os alunos a formularem problemas, eles precisam de desenvolver essa capacidade de processos científicos).

Tabela 4.5.
Coerência curricular de processos científicos em vários níveis de escolaridade.

Nível de escolaridade	**Processos científicos**		
Ensino secundário	Interação complexa de variáveis (quantitativas)	Níveis crescentes de complexidade ↑	Capacidades de processos científicos: - Formulação de problemas - Formulação de hipóteses - Planeamento experimental - Interpretação de resultados
3.º ciclo	Interação simples de variáveis (qualitativas/quantitativas)		
2.º ciclo	Interação simples de variáveis (qualitativas/quantitativas)		
1.º ciclo	Interação simples de variáveis (qualitativas/quantitativas)		

Descrição da proposta para o 1.º ciclo

No seguimento da proposta de intervenção anterior, considera-se que, ao nível do 1.º ciclo do ensino básico, o conceito de fotossíntese deve ser abordado a um nível nominal, ou seja, o aluno está apenas consciente do conceito mas ainda não construiu um significado adequado desse conceito (Tabela 4.5.). Deste modo, na atividade laboratorial que se apresenta, este processo seria apenas relacionado com alguns dos fatores abióticos que os alunos estudam.

Na Tabela 4.6. apresenta-se a sugestão de uma situação problemática e o problema investigativo e as hipóteses que poderiam ser formulados. Através desta situação, pretende-se estudar o efeito de duas variáveis independentes – a temperatura e a presença/ausência de luz – no crescimento de plantas de tomateiro.

Tabela 4.6.
Situação problemática para o 1.º ciclo do ensino básico.

Situação problemática:
Em agosto, nas férias do verão, o João foi almoçar a casa do Afonso e comeu uma salada de tomate. O Afonso disse-lhe que tinha plantado os tomateiros na varanda de sua casa no final do mês de maio. Quando voltou de férias, o João resolveu plantar também tomateiros na varanda de sua casa. Plantou-os em novembro mas não conseguiu que crescessem.
Problema:
Por que razão os tomateiros se desenvolvem quando são plantados em maio e não quando são plantados em novembro?
Hipóteses:
Os tomateiros desenvolvem-se quando são plantados em maio porque a temperatura é mais elevada do que em novembro. Os tomateiros desenvolvem-se quando são plantados em maio porque há mais luz do que em novembro.

De forma a responder ao problema e a testar as hipóteses levantadas, o planeamento experimental poderia estar relacionado com a interação das duas variáveis em plantas de tomateiro. Seriam preparados quatro conjuntos com três plantas em cada um deles. No primeiro e segundo conjuntos, as plantas seriam colocadas na bancada da sala (20 a 25 ºC), o primeiro na presença de luz (candeeiro) e o segundo às escuras. No terceiro e quarto conjuntos, as plantas seriam colocadas no frigorífico (5 ºC), o terceiro na presença de luz (pequena lanterna a pilhas) e o quarto às escuras.

Destacam-se alguns dos aspetos a ter em consideração na realização desta atividade laboratorial: todas as plantas devem ser humedecidas e sempre com a mesma quantidade de água; podem ser estudadas outras variáveis, como a água e os sais minerais; os resultados são baseados na altura de cada uma das três plantas, fazendo-se depois uma média; o professor pode sempre prolongar o tempo de observação se achar que é necessário (continuar a realizar os registos uma vez por semana); e na interpretação dos resultados, é essencial que os alunos avaliem as hipóteses inicialmente colocadas.

Descrição da proposta para o 2.º ciclo

No 2.º ciclo, considera-se que os processos de fotossíntese e de respiração devem ser estudados ainda sem se evidenciar a sua relação com o fluxo de energia e o ciclo de matéria nos ecossistemas (Tabela 4.3.). Ao contrário do que se verificou no 1.º ciclo, neste nível de escolaridade os alunos já devem aprender um conceito funcional de fotossíntese, nomeadamente que, em presença da luz, os seres vivos com clorofila, consomem dióxido de carbono e libertam oxigénio e, neste processo, fabricam matéria orgânica.

Na Tabela 4.7. apresenta-se uma possível situação problemática, com base num texto adaptado de uma notícia do jornal Público (Soares, 2013, 15 de novembro). Salienta-se que a adaptação que se faz dos textos é intencional, de forma a conduzir ao conhecimento científico que se pretende aprender na altura e também de modo a orientar a formulação do problema pretendido. Na discussão da notícia em causa, o professor deve explicar aos alunos, de um modo genérico, o que são os gases de efeito de estufa, uma vez que na realização da atividade laboratorial os alunos vão centrar-se em um desses gases, o dióxido de carbono. Na mesma tabela mostra-se também o problema investigativo e as hipóteses que poderiam ser formulados pelos alunos deste nível de escolaridade ou apresentados pelo professor, no caso de considerar que os alunos ainda não desenvolveram algumas destas capacidades.

O planeamento experimental poderia estar relacionado com a montagem que se sugere na Figura 4.5., com recurso à planta aquática *Elodea*, a água carbonatada e o indicador azul de bromotimol[5]. Apresentam-se também possíveis resultados. A realização da atividade por vários grupos de trabalho pode conduzir a resultados diferentes, que devem ser discutidos com os alunos, de modo a explorar hipóteses explicativas para as diferenças observadas.

[5] O azul de bromotimol é amarelo em soluções ácidas (presença de dióxido de carbono) e azul em soluções básicas (ausência de dióxido de carbono). No início da atividade que se propõe, o indicador apresenta cor amarela, uma vez que se utiliza água carbonatada.

Tabela 4.7.
Situação problemática para o 2.º ciclo do ensino básico.

Situação problemática:
Desflorestação da Amazónia aumentou 28% no último ano Em 2009, o Brasil assumiu o compromisso de reduzir, até 2020, as emissões de gases com efeito de estufa, concretamente reduzir em 36% o aumento das emissões de carbono. Para ajudar a cumprir essa meta, o Governo contava com uma descida de 80% no nível de desflorestação. Contudo, a desflorestação da Amazónia aumentou 28% entre Agosto de 2012 e Julho deste ano, invertendo a tendência dos últimos anos. Naquele período foram destruídos 5843 quilómetros quadrados de floresta, o equivalente a quase 600 campos de futebol, situação que a ministra do Meio Ambiente brasileira, Izabella Teixeira, classificou como "inaceitável". Adaptado de notícia do jornal Público, 15/11/2013
Problema:
Por que razão a diminuição da desflorestação leva à redução do carbono existente na atmosfera?
Hipótese:
As plantas absorvem o carbono do ar.

Previamente à realização da atividade laboratorial que se sugere, é necessário que os alunos percebam que o azul de bromotimol é um indicador da presença de dióxido de carbono. Para tal, os alunos podem fazer uma atividade preliminar (de verificação factual), usando dois tubos com água destilada e azul de bromotimol. Num deles sopram com uma palhinha e no outro deitam água gaseificada artificialmente.

É importante salientar que é necessário realizar outras atividades, laboratoriais ou não, que permitam chegar ao conhecimento pretendido sobre o processo de fotossíntese para este nível de escolaridade. A atividade laboratorial que se apresenta é apenas uma das atividades que contribui para se chegar àquele conhecimento. Por exemplo, a realização de uma atividade laboratorial com recurso a folhas de sardinheira poderia ser usada para explorar a ideia de que, na presença de luz, os organismos fotossintéticos produzem matéria orgânica.

Tubos 1 e 2 – água carbonatada + azul de bromotimol

Tubos 3 e 4 – água carbonatada + azul de bromotimol + planta

I

Tubo	Resultados (cor do azul de bromotimol)
1	Amarelo
2	Amarelo
3	Azul
4	Amarelo

II

Figura 4.5. Montagem experimental (I) e possíveis resultados (II) da atividade laboratorial para o 2.º ciclo do ensino básico (adaptado de CIBT, 2008).

Descrição da proposta para o 3.º ciclo

No 3.º ciclo, considera-se que os processos de fotossíntese e de respiração devem ser estudados evidenciando-se a sua relação com o fluxo de energia e o ciclo de matéria nos ecossistemas. A inter-relação fotossíntese/respiração é, assim, estudada ao nível da organização biológica do ecossistema (Tabela 4.3.), e em que os alunos poderão adquirir já um conceito estrutural de fotossíntese (Tabela 4.4.). Na Tabela 4.8. apresenta-se uma possível situação problemática, com base num texto adaptado de uma notícia do jornal Ciência Hoje (2009, 23 de novembro).

Na Tabela 4.8. mostram-se também possíveis problemas investigativos que poderiam ser formulados a partir da situação problemática apresentada. É importante que os alunos se apercebam que, de uma situação, podem surgir vários problemas. Relativamente ao primeiro problema, que iria ser explorado na atividade laboratorial que se propõe (o segundo problema poderia ser investigado mais tarde), e com base nos dados apresentados no texto e nos conhecimentos científicos que têm do 1.º e 2.º ciclos, os alunos poderiam formular a hipótese que se apresenta.

Tabela 4.8.
Situação problemática para o 3.º ciclo do ensino básico.

Situação problemática:

Níveis de dióxido de carbono da Ria Formosa em estudo: Universidade do Algarve quer descobrir se a ria consome mais ou produz mais CO_2

Uma equipa de investigadores da Universidade do Algarve arranca em janeiro com um projeto que visa estimar se, na Ria Formosa, há maior produção ou maior consumo de carbono. A Ria Formosa – sistema lagunar que se estende ao longo de 60 quilómetros entre o Ancão e a Manta Rota –, é um ecossistema onde, simultaneamente, se produz e se consome dióxido de carbono devido à presença de algas, plantas e animais e ainda pelas atividades desenvolvidas pelo homem (por exemplo, através das ETARs).

O projeto é importante, explica Rui Santos, coordenador do grupo Algae, do Centro de Ciências do Mar da Universidade do Algarve, pois permite dar um passo no conhecimento dos efeitos da libertação de carbono na atmosfera e consequentes alterações climáticas.

Os investigadores vão medir a quantidade de carbono na Ria Formosa e analisar com detalhe cada componente biológica da ria (plantas marinhas, algas, sapal e viveiros, por exemplo) para quantificar quanto produzem e quanto consomem, fazendo depois uma estimativa global. Ao nível dos fluxos de CO_2, "a ideia é ver se a Ria Formosa se comporta como uma planta ou, pelo contrário, como um animal", resumiu Rui Santos.

Adaptado de notícia do jornal *Ciência Hoje*, 23/11/2009

Problemas:

Em que medida a relação entre animais e plantas interfere nos níveis de dióxido de carbono de um ecossistema?*

Em que medida a atividade humana interfere nos níveis de dióxido de carbono de um ecossistema?

Hipótese:

*Através da respiração, as plantas e os animais libertam dióxido de carbono que é utilizado pelas plantas durante a fotossíntese.

Nota. *Problema e hipótese a investigar na atividade que se apresenta.

A atividade laboratorial será a mesma que foi apresentada na proposta de mudança anterior, que esteve focada no 3.º ciclo (ver Figura 4.1.), e também utiliza o azul de bromotimol como indicador da presença/ausência de dióxido de carbono. Os resultados que se obtêm são apenas qualitativos e utilizando diferentes montagens laboratoriais, uma por cada grupo de trabalho, é possível discutirem-se resultados diferentes. Essa atividade permite explorar a interdependência entre animais e plantas, evidenciada

pelo facto de as plantas absorverem o dióxido de carbono libertado pelos animais.

Descrição da proposta para o ensino secundário

No ensino secundário, a abordagem do conceito de fotossíntese deve ser mais aprofundada, envolvendo as diferentes etapas das reações químicas desse processo e em que é possível os alunos adquirirem um conceito multidimensional de fotossíntese (Tabela 4.4.). Como já foi referido (Tabela 4.5.), ao nível dos processos científicos, considera-se que deve ser promovida a interação complexa de variáveis, nomeadamente quantitativas. Pode explorar-se a relação da taxa fotossintética com a intensidade luminosa mediada, por exemplo, pela temperatura e pelo dióxido de carbono. Na Tabela 4.9. apresenta-se uma possível situação problemática, com base num texto adaptado de uma notícia do jornal Público (Ferreira, 2013, 9 de novembro) e de informação disponível no *site* da empresa Terraprima (2013).

Tabela 4.9.
Situação problemática para o ensino secundário.

Situação problemática:

A fórmula certa para recuperar solos pobres foi criada por portugueses

Vinte variedades de plantas dão nova vida a solos. As Pastagens Semeadas Biodiversas sugam mais dióxido de carbono do ar, enriquecem a terra e alimentam o gado. Projeto ganhou prémio europeu ambiental.

Tiago Domingos, professor de engenharia ambiental do Instituto Superior Técnico e diretor da empresa de serviços ambientais Terraprima conseguiu que mil agricultores lhe dessem ouvidos. Hoje, em Portugal, há muitos terrenos onde as pastagens biodiversas crescem. Estas pastagens capturam uma quantidade anormal de dióxido de carbono, evitando a acumulação de parte do gás que mais contribui para o efeito de estufa, responsável pelo aquecimento global. Essa foi uma das razões para o projeto Pastagens Semeadas Biodiversas ganhar, em 2013, o concurso da Comissão Europeia "Um Mundo Que me Agrada com um Clima que me Agrada".

Foi David Crespo, engenheiro agrícola e diretor do programa de investigação e desenvolvimento da empresa Fertiprado, que desenvolveu uma fórmula de 20 variedades diferentes de plantas que, quando semeadas, respondem localmente. A diversidade induz uma maior adaptabilidade a variações climáticas anuais e proporciona uma maior resistência a fatores ambientais, mantendo-se as pastagens sempre verdes.

Adaptado de notícia do jornal Público, 9/11/2013, e de Terraprima, 2013

Problema:
Por que razão as pastagens biodiversas fazem uma captação anormal de dióxido de carbono?
Hipótese:
A taxa fotossintética de plantas diversas varia de formas diferentes em termos dos fatores ambientais (luz, temperatura, etc.), levando a que a produção vegetal se mantenha ao longo de todo o ano.
Problema específico (*a investigar*):
De que modo a taxa fotossintética de diferentes espécies de plantas é influenciada pela intensidade luminosa e pela temperatura?
Hipóteses:
A taxa fotossintética varia consoante a espécie de planta e, para uma dada espécie, aumenta à medida que aumenta a intensidade luminosa.
A taxa fotossintética varia consoante a espécie de planta e, para uma dada espécie, aumenta à medida que aumenta a temperatura.

Na Tabela 4.9. mostra-se também o problema, geral, e a hipótese que poderiam ser formulados pelos alunos deste nível de escolaridade. Apresenta-se ainda o problema específico, o problema a investigar, ou seja, o problema que já direciona para uma investigação, e duas hipóteses que poderiam ser formuladas pelos alunos.

Sugerem-se duas possibilidades de atividades laboratoriais. A primeira recorre a discos de folhas flutuantes. Salienta-se que esta atividade ainda não foi testada pelas autoras mas o material e o procedimento são relativamente acessíveis e tem sido implementada e testada por outros (ex., Casa das Ciências, 2012; College Board, 2012). Antes de levar os alunos a planificarem a atividade laboratorial que responda ao problema em causa, eles devem aprender a realizar a técnica laboratorial de medição indireta da taxa fotossintética através da medição da produção de oxigénio em discos de folhas flutuantes (Figura 4.6.). Normalmente, a taxa fotossintética é calculada através da medição do consumo de dióxido de carbono. Contudo, o equipamento e procedimentos para o fazer não estão, usualmente, disponíveis nos laboratórios das escolas.

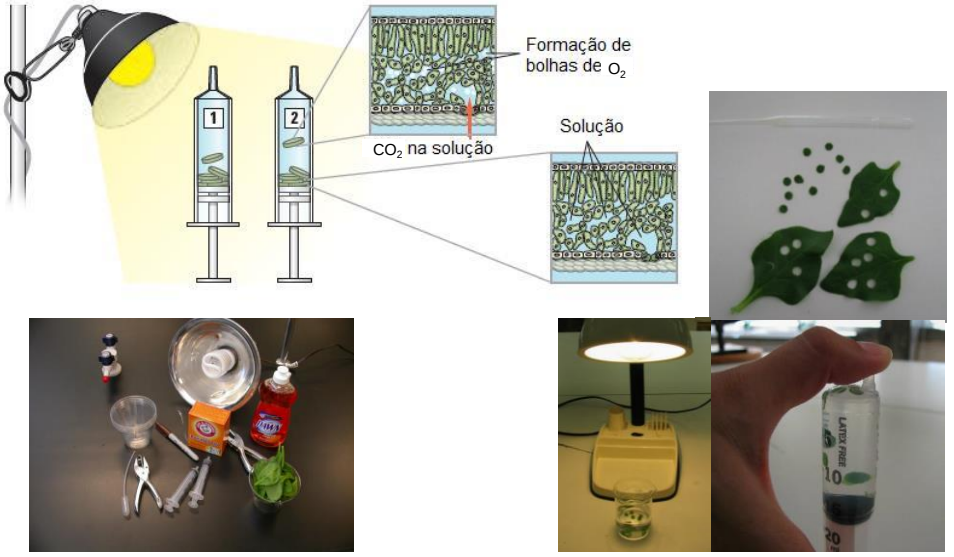


Figura 4.6. Material e alguns dos procedimentos da atividade laboratorial para o ensino secundário, com recurso a discos de folhas flutuantes (adaptado de Casa das Ciências, 2012, e de College Board, 2012).

Como se pode verificar nas imagens da Figura 4.6., neste procedimento, é usado o vácuo para remover o ar aprisionado e infiltrado no interior das amostras de folhas com uma solução que contenha iões de bicarbonato (fonte de carbono da fotossíntese). Nessas condições, os discos das folhas afundam na solução de bicarbonato. Quando colocados num local com luz suficiente, há, devido à fotossíntese, produção de bolhas de oxigénio que alteram a flutuação dos discos, levando-os a subir na solução (College Board, 2012). Na Figura 4.7. apresentam-se dois gráficos com alguns resultados da atividade realizada, neste caso com variação da intensidade luminosa e mantendo constante a quantidade de dióxido de carbono (College Board, 2012). Como extensão desta atividade laboratorial, pode também ser estudada a interação da intensidade luminosa com a temperatura e ainda a relação entre a quantidade de dióxido de carbono disponível e a taxa fotossintética.

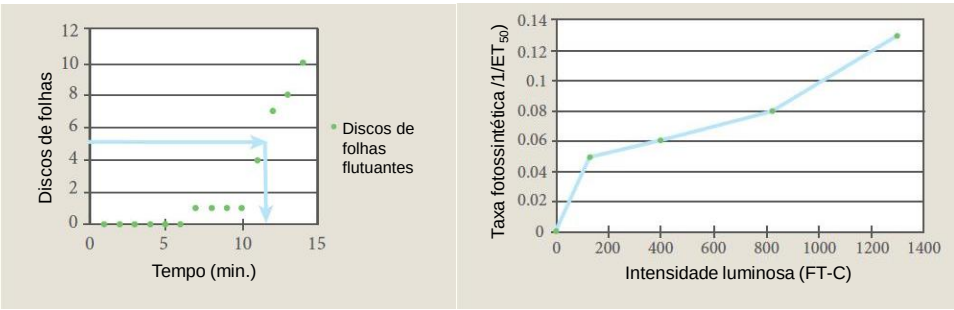


Figura 4.7. Alguns resultados da atividade laboratorial para o ensino secundário, com recurso a discos de folhas flutuantes (adaptado de College Board, 2012).

A segunda possibilidade de atividade laboratorial, já testada há várias décadas por uma das autoras em situação de estágio, e posteriormente adaptada por um grupo de alunos de Metodologia da Biologia do Departamento de Educação da FCUL, em contexto de formação, utiliza o manómetro como forma de quantificar o oxigénio produzido (BSCS, 1968). Esta atividade pode ser realizada com recurso, ou não, a sensores (a versão original foi realizada sem sensores), com as respetivas vantagens e inconvenientes. Na Figura 4.8. apresenta-se uma possível montagem experimental dessa atividade.

Processos científicos e coerência curricular

É importante notar que não se pretendeu, nestas sugestões de atividades para os vários ciclos de ensino, fazer uma descrição detalhada de procedimentos e cuidados a ter na sua realização, mas esses "pormenores" são particularmente importantes para o sucesso de uma dada atividade experimental. Essa descrição encontra-se nas "indicações para o professor" dos currículos e manuais de melhor nível (ex., BSCS, 2011; Domingos, Neves & Galhardo, 1983). Mas mesmo quando o professor parte de uma atividade que está cuidadosamente descrita, ela deve ser sempre feita pelo professor antes de a aplicar na aula de ciências, de modo a ter uma perceção clara da forma como deve orientar o trabalho.

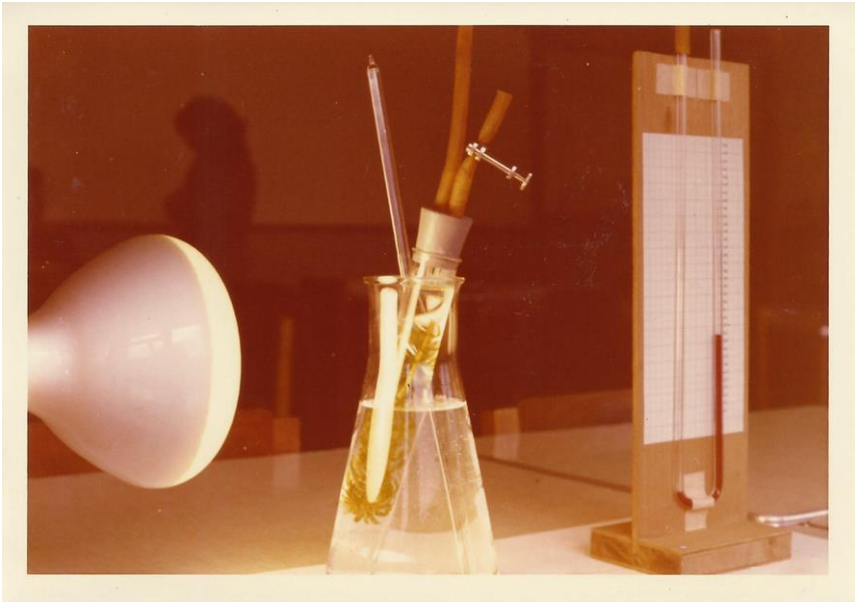


Figura 4.8. Montagem experimental da atividade laboratorial para o ensino secundário, com recurso a um manómetro (adaptado de BSCS, 1968).

Como se pode verificar, à medida que se avança de nível de escolaridade, do 1.º ciclo para o ensino secundário, o nível de complexidade dos processos científicos das atividades laboratoriais propostas vai aumentando: a situação problemática apresentada, a formulação do problema e das hipóteses, a planificação da atividade laboratorial. Além disso, os cuidados que o professor necessita de ter nessa planificação também vão sendo acrescidos. É assim possível que os alunos desenvolvam capacidades de processos científicos, nas diferentes etapas do seu percurso escolar, como a formulação de problemas, a formulação de hipóteses, planeamento experimental e interpretação de resultados, mas com níveis crescentes de complexidade.

É, no entanto, importante que o processo de ensino/aprendizagem foque, de forma explícita, o conhecimento processual, isto é, o conhecimento de como fazer algo, de técnicas e métodos específicos de uma determinada disciplina, e também o conhecimento dos processos científicos (ex.,

Roberts, Gott & Glaesser, 2010). Alguns estudos (Glaesser et al., 2009; Roberts et al., 2010) têm vindo a mostrar que o ensino do conhecimento processual de forma explícita é possível e necessário, em conjunto com o ensino do conhecimento declarativo. Durante a realização de uma investigação com um elevado grau de abertura, que decorreu após esse tipo de ensino, os alunos apresentaram uma melhor compreensão das ideias relacionadas com a validade e fiabilidade dos dados recolhidos e da necessidade de várias leituras/medições. O seu modo de trabalhar na investigação também se tornou mais eficiente. Os autores apontam para a necessidade, por um lado, do currículo dos vários níveis de escolaridade incluir o conhecimento processual e, por outro, desse conhecimento ser estruturado e sequenciado de modo adequado e ensinado através dos métodos mais eficazes, sejam eles práticos ou não.

Conceptualização da construção da ciência

A inclusão da construção da ciência em currículos, manuais escolares e práticas pedagógicas não constitui uma ideia inovadora no ensino das ciências. No entanto, os conhecimentos e as capacidades relacionados com a construção da ciência apresentam, em geral, um nível de conceptualização pouco elevado, como evidenciam os resultados de diversos estudos (ex., Castro, 2015; Ferreira & Morais, 2014). Esses estudos também mostram que nem sempre há articulação entre os conhecimentos sobre a construção da ciência (conhecimentos metacientíficos) e os conhecimentos científicos, nem uma clara explicitação dos conceitos metacientíficos, associados a qualquer uma das dimensões propostas por Ziman (1984), que se pretende que os alunos adquiram. Essa falta de explicitação, a vários níveis do sistema educativo, pode dificultar a introdução da construção da ciência no ensino das ciências. Com a proposta de intervenção que se apresenta, sugere-se uma atividade a realizar em sala de aula que possa contribuir para obviar alguns destes problemas. Neste âmbito, pode colocar-se a seguinte questão: como conceber atividades que permitam a exploração de conhecimentos metacientíficos, interligando as suas várias dimensões, e uma

aprendizagem conceptualizada quanto ao processo de construção da ciência?

Um dos argumentos que, muitas vezes, surge para não se incluir atividades relacionadas com a construção da ciência como uma estratégia a ser desenvolvida em sala de aula está relacionado com a falta de tempo. Considera-se, contudo, que num processo de ensino/aprendizagem que se baseie na articulação entre os conhecimentos científicos e a metaciência, para além de se minimizar essa limitação, está-se a promover a exigência conceptual. Neste sentido, a proposta que se apresenta parte de um exemplo, abordado na proposta anterior para o ensino secundário, sobre a exploração do conceito de fotossíntese através de trabalho laboratorial e que pretendia responder ao seguinte problema: por que razão as pastagens biodiversas fazem uma captação anormal de dióxido de carbono? (ver Tabela 4.9.).

Descrição de uma proposta para o ensino secundário

Utiliza-se para esta proposta um texto sobre as Pastagens Semeadas Biodiversas, que diferem das pastagens convencionais por recorrerem à diversidade e à complementaridade funcional de mais de 20 espécies de plantas para aumentar a produção vegetal (Teixeira et al., 2015). Esse texto, que se apresenta no Apêndice 1, resultou, essencialmente, de uma adaptação de uma entrevista realizada ao investigador Tiago Domingos. Partindo deste texto, o professor pode explorar com os alunos conhecimentos metacientíficos, relacionados com as várias dimensões da construção da ciência. Essa exploração deve ser articulada com o processo de ensino/aprendizagem do processo de fotossíntese, ainda ao nível do organismo e do ecossistema. Considera-se que o texto poderia ser usado através de uma atividade de discussão orientada, que implica que haja uma estruturação prévia da atividade por parte do professor. Os alunos são, por exemplo, confrontados com textos e figuras a partir dos quais se colocam questões numa sequência bem definida, de forma a completarem progressivamente o seu raciocínio. Estas atividades de discussão são apresentadas no BSCS (2009) como convites ao inquérito (em inglês, *invitations to inquiry*) e são consideradas como "um meio útil para ajudar

os alunos a desenvolverem uma melhor compreensão de como a ciência é feita e do que se pode aprender através da ciência" (p. 78). O professor pode optar por fazer a discussão geral sobre partes do texto que se vão apresentando aos alunos ou por fazer uma discussão em grupos, seguida de uma discussão geral, em que os alunos têm à partida todo o texto e questões a serem exploradas. Em qualquer dos casos, o objetivo deve ser chegar a conceitos parcelares sobre a construção da ciência e, no final, como síntese, a um conceito geral, que traduza uma ideia abrangente, interligada e complexa sobre a metaciência.

No contexto desta proposta de mudança e tendo em consideração o tempo disponível, apresentam-se cinco exemplos de questões que poderiam surgir com base no texto sobre as Pastagens Semeadas Biodiversas (Apêndice 1) e indicam-se algumas partes do texto onde os alunos poderiam encontrar dados para responder a essas questões. Explicitam-se ainda os conceitos metacientíficos, de diferentes graus de complexidade, e associados a diferentes dimensões da construção da ciência, que poderiam ser explorados em cada questão. Salienta-se que há vários níveis de conceptualização do conhecimento associada às várias dimensões metacientíficas e é, por isso, necessário não reduzi-lo a um conhecimento apenas de nível factual (ver fundamentos e modelos de análise, Parte III).
Na Tabela 4.10. apresenta-se uma das questões passíveis de serem colocadas com base nos dados do texto: *Discute em que medida se pode afirmar que não existe linearidade nos métodos de construção da ciência, nomeadamente na ciência aplicada*. Para responder a esta questão, os alunos poderiam basear-se em diversas partes do texto de que o seguinte excerto é ilustrativo:

> Foram desenvolvidos dois projetos em 2000, e em oito locais (um dos quais na Quinta da França, uma quinta de família que comecei a gerir em 93/94) escolheu-se uma grande parcela de terreno que se dividiu em duas partes. Numa dessas partes manteve-se um sistema tradicional das pastagens naturais e na outra fez-se o sistema das pastagens biodiversas. O importante deste processo é que isto tinha de ser feito com os agricultores e também ser suficientemente grande para ter o pastoreio, que é uma componente fundamental. Fez-se assim, pela primeira vez, uma experiência controlada com o sistema completo. Claro que isto não é tão controlado como uma experiência em laboratório porque num terreno grande não se consegue ter duas

> metades iguais, não se consegue ter pastoreio exatamente igual, etc. (*Excerto de entrevista realizada a Tiago Domingos, linhas 66 a 76*)

Nesta parte do texto é dado, por exemplo, realce à questão do controlo experimental (Figura 4.9.). Outros procedimentos também vão sendo referidos ao longo de outras partes do texto, como a questão do acaso na investigação, o uso de modelos, a importância dos paradigmas e a relevância do conhecimento tácito na construção da ciência. Deste modo, através da discussão das várias partes do texto, os alunos poderiam chegar a um conceito metacientífico relativo à diversidade de procedimentos utilizados na investigação científica e que está, deste modo, associado à dimensão filosófica da construção da ciência (Tabela 4.10.).

Figura 4.9. Diferenças entre uma pastagem natural (à esquerda do caminho) e uma pastagem semeada biodiversa (à direita): a primeira começa a ser invadida por matos enquanto a segunda se mantém livre dos mesmos (Terraprima, 2013, 30 de agosto).

Tabela 4.10.
Questão 1 da atividade de discussão orientada com base no texto Pastagens Semeadas Biodiversas.

Questão 1:
Com base no texto "Pastagens Semeadas Biodiversas" discute as questões que se apresentam.
1- Discute em que medida se pode afirmar que não existe linearidade nos métodos de construção da ciência, nomeadamente na ciência aplicada.
Dados do texto*:
Linhas, por exemplo, 25-33; 66-76; 94-99; 150-162; 193-202; 204-213
Conceito metacientífico:
Na atividade científica, em particular na sua componente de ciência aplicada, não há uma linearidade de procedimentos, podendo essa atividade revestir-se de múltiplas formas, consoante a natureza das experiências a realizar, dos contextos em que elas se realizam e do tipo de conhecimento prévio envolvido.
Dimensão da construção da ciência:
Dimensão filosófica

Nota. *O texto de apoio encontra-se no Apêndice 1.

Outra questão possível seria a que se mostra na Tabela 4.11., em que se pede ao aluno para comentar a seguinte afirmação: *Para o avanço da ciência, é fundamental o conjunto de ideias/investigações que vão surgindo, ao longo do tempo, em diferentes contextos sociopolíticos.* Os dados que permitem comentar esta afirmação encontram-se em várias partes do texto, associados à dimensão histórica da construção da ciência (Figura 4.10.). Destaca-se o seguinte excerto:

> Nesta linha [David Crespo] foi continuando a investigar, semeando à medida que percebia melhor quais eram as misturas mais produtivas. E, nos anos 80, eu acho que em muitos aspetos ele já tinha uma ideia bastante clara de como é que isto podia funcionar. (*Excerto de entrevista realizada a Tiago Domingos, linhas 33 a 36*)

Tabela 4.11.
Questão 2 da atividade de discussão orientada com base no texto Pastagens Semeadas Biodiversas.

Questão 2:
2- Comenta a seguinte afirmação:
Para o avanço da ciência, é fundamental o conjunto de ideias/investigações que vão surgindo, ao longo do tempo, em diferentes contextos sociopolíticos.
Dados do texto*:
Linhas, por exemplo, 5-7; 20; 33-36; 66; 103-105;124-129; 162-164
Conceito metacientífico:
Para o avanço da ciência, é fundamental o conjunto de ideias/investigações que vão surgindo, ao longo do tempo, em diferentes contextos sociopolíticos.
Dimensão da construção da ciência:
Dimensão histórica

Nota. *O texto de apoio encontra-se no Apêndice 1.

Figura 4.10. As Pastagens Semeadas Biodiversas são um sistema de pastagens desenvolvido nos anos 70, em Portugal, pelo Engenheiro David Crespo (à esquerda) (Terraprima, 2013, 16 de dezembro).

Na Tabela 4.12. apresenta-se uma terceira questão, relacionada em particular com a dimensão psicológica da construção da ciência: *Analisa de que forma diferentes interesses de natureza pessoal podem condicionar a produção de conhecimento*. Os alunos poderiam encontrar resposta a esta questão em várias partes do texto, de que o seguinte excerto é ilustrativo:

> Nesse âmbito [do projeto *Extensity*], analisámos cuidadosamente as pastagens semeadas biodiversas do ponto de vista económico e ambiental, tendo concluído pelas suas vantagens em ambas as vertentes. (*Excerto de entrevista realizada a Tiago Domingos, linhas 88 a 90*)

Este excerto evidencia o interesse do cientista em realizar o trabalho de forma cuidadosa, com vista a alcançar resultados económicos e ambientais. Na mesma tabela explicita-se o conceito metacientífico a que os alunos deveriam chegar.

Tabela 4.12.
Questão 3 da atividade de discussão orientada com base no texto Pastagens Semeadas Biodiversas.

Questão 3:
3- Analisa de que forma diferentes interesses de natureza pessoal podem condicionar a produção de conhecimento.
Dados do texto*:
Linhas, por exemplo, 39-41; 77-78; 88-90; 213-217
Conceito metacientífico:
Num empreendimento científico em que o papel de cientista coexiste com o papel de empresário, o sucesso da descoberta passa não só pela motivação e espírito de iniciativa dos cientistas mas também pelo seu interesse económico nos resultados a alcançar.
Dimensão da construção da ciência:
Dimensão psicológica

Nota. *O texto de apoio encontra-se no Apêndice 1.

Outra questão passível de ser apresentada aos alunos, com base em diversos dados do texto sobre as Pastagens Semeadas Biodiversas (Apêndice 1), seria a seguinte: *Apresenta argumentos que apoiem a*

importância, para a ciência e para os cientistas, da divulgação e partilha dos resultados da investigação em curso, quer à comunidade académica quer à sociedade. Os alunos poderiam encontrar resposta a esta questão em várias partes do texto, de que os dois excertos que se seguem são ilustrativos:

> O modelo em que mostrávamos que aumentava a matéria orgânica no solo e o sequestro de carbono foi publicado em 2010 numa revista internacional, a *Ecological Modelling*. E o facto de termos publicado os resultados da comparação, em *peer reviewed*, foi fundamental para que houvesse validação de conhecimento e, portanto, o nosso sistema de sequestro de carbono fosse aceite internacionalmente. Veio uma comissão técnica das Nações Unidas que não levantou problemas relativamente aos nossos cálculos para as pastagens semeadas biodiversas. (*Excerto de entrevista realizada a Tiago Domingos, linhas 103 a 108*)

> No seu conjunto, estes projetos envolveram cerca de 1400 agricultores e 130 mil hectares e permitiram à Terraprima ganhar, em 2013, o concurso da Comissão Europeia "Um Mundo Que me Agrada com um Clima que me Agrada", para a "melhor solução para o clima". (*Excerto de entrevista realizada a Tiago Domingos, linhas 146 a 149*)

O primeiro excerto mostra a importância da publicação e validação do conhecimento no seio da comunidade científica, estando sobretudo associado à dimensão sociológica interna. O segundo excerto mostra o reconhecimento da sociedade, ao nível da Comissão Europeia, salientando, assim, a dimensão sociológica externa da construção da ciência. O conceito metacientífico a que os alunos deveriam chegar está explicitado na Tabela 4.13.

Tabela 4.13.
Questão 4 da atividade de discussão orientada com base no texto Pastagens Semeadas Biodiversas.

Questão 4:
4 - Apresenta argumentos que apoiem a importância, para a ciência e para os cientistas, da divulgação e partilha dos resultados da investigação em curso, quer à comunidade académica quer à sociedade.
Dados do texto*:
Linhas, por exemplo, 41-46; 103-108; 146-149; 213-217

Conceito metacientífico:
A partilha de conhecimentos e de relatos de experiências/ensaios através de publicações, em particular de prestígio científico, contribui para o progresso da ciência e para o reconhecimento/ aceitação dos cientistas na comunidade académica e na sociedade.
Dimensão da construção da ciência:
Dimensão sociológica (interna e externa)

Nota. *O texto de apoio encontra-se no Apêndice 1.

Na Tabela 4.14. apresenta-se uma quinta questão, relacionada igualmente com a dimensão sociológica, interna e externa: *Avalia em que medida a conjugação de ideias e interesses de pessoas ligadas a diversos campos da sociedade (económico, científico, político) pode contribuir para o sucesso da aplicação da ciência*. Destacam-se os seguintes excertos que poderiam apoiar a resposta a esta questão:

> Em 2005-2011, é secretário de estado do ambiente o professor de biologia na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Humberto Rosa. Eu já o conhecia, pois Humberto Rosa, como professor da Faculdade, fez parte da comissão de aconselhamento da avaliação, da qual eu fui um dos coordenadores, dos serviços de ecossistema em Portugal no âmbito do *Millennium Ecosystem Assessment*. Em 2006, pedi para falar com ele e disse-lhe que o sistema que estávamos a usar era fantástico, bom para o ambiente e bom em termos económicos (uma solução *win-win*), que Portugal precisava de cumprir o Protocolo de Quioto e que este sistema ajudava em termos de sequestro de carbono mas com imensos outros benefícios. Como político, que é cientista, percebeu imediatamente e deu todo o apoio que era necessário. Logo depois, no dia mundial do ambiente, ele foi à Herdade dos Esquerdos visitar a Fertiprado, o que deu grande visibilidade pública. (*Excerto de entrevista realizada a Tiago Domingos, linhas 111 a 123*)

> Uma das coisas que nós estamos a começar – submetemos agora candidaturas com uma professora da Faculdade de Ciências de Lisboa, a Cristina Cruz – é investigar consociações entre fungos e bactérias que libertam fósforo. (*Excerto de entrevista realizada a Tiago Domingos, linhas 193 a 195*)

O primeiro excerto evidencia uma conjugação de interesses, nomeadamente o interesse político e o interesse científico. Deste modo, este exemplo está mais associado à dimensão sociológica externa. O segundo excerto mostra a investigação a avançar com a colaboração de outros cientistas, salientando, assim, a dimensão sociológica interna da construção da ciência. O conceito metacientífico a que os alunos deveriam

chegar contempla estas duas vertentes da dimensão sociológica, tal como o conceito anterior mas com uma maior conceptualização, e está explicitado na Tabela 4.14.

Tabela 4.14.
Questão 5 da atividade de discussão orientada com base no texto Pastagens Semeadas Biodiversas.

Questão 5:
5- Avalia em que medida a conjugação de ideias e interesses de pessoas ligadas a diversos campos da sociedade (económico, científico, político) pode contribuir para o sucesso da aplicação da ciência.
Dados do texto*:
Linhas, por exemplo, 43-49; 63-66; 78-86; 108-110; 111-123;124-136; 137-141; 142-146; 193-195
Conceito metacientífico:
Para garantirem que uma descoberta é aplicada, os cientistas precisam de ter uma ligação ao mundo empresarial e a quem faz as políticas, através de diálogo entre campos da sociedade, nomeadamente entre agentes que pertencem simultaneamente a vários campos e ainda trabalhando em rede através de um aumento da abrangência de cientistas, de agentes sociais, de empresários e do Estado.
Dimensão da construção da ciência:
Dimensão sociológica (interna e externa)

Nota. *O texto de apoio encontra-se no Apêndice 1.

Quando se abordam questões no âmbito da construção da ciência é importante compreender as relações que se estabelecem entre os diversos campos da sociedade e que podem ser analisadas recorrendo ao modelo do discurso pedagógico de Basil Bernstein (1990). Este modelo pretende mostrar as múltiplas relações que se estabelecem entre a produção do conhecimento e a sua reprodução (Figura 4.11.).

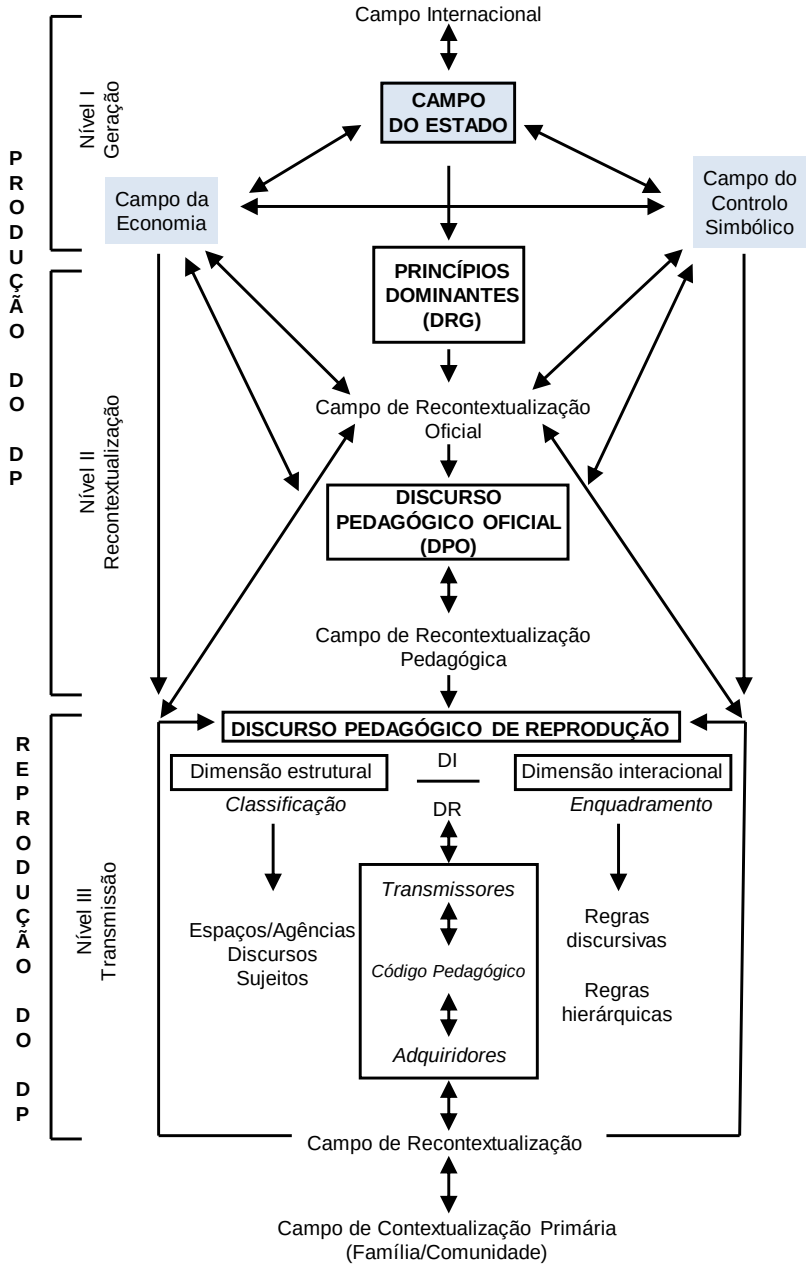


Figura 4.11. Modelo do discurso pedagógico de Bernstein (1990, adaptado por Morais & Neves, 2007).

Relativamente à parte superior do modelo representado na Figura 4.11., pode verificar-se que há relações entre os campos do controlo simbólico, da economia e do Estado. O campo de controlo simbólico é onde se produz o conhecimento (ex., universidades e centros de investigação). O campo da economia está ligado à produção de recursos materiais (ex., empresas e indústria). O campo do Estado é de onde emana o discurso regulador geral (DRG), que é constituído pelos princípios dominantes da sociedade e que está consignado na Constituição. No texto das Pastagens Semeadas Biodiversas (Apêndice 1) é possível verificar a intervenção destes três campos.

A produção do conhecimento, feita no campo do controlo simbólico, pode envolver agentes ligados a vários campos, podendo o mesmo agente estar ligado a mais do que um campo. Estes agentes têm identidades próprias, ligadas ao campo a que pertencem; no entanto, podem ter ideologias mistas e diferentes posicionamentos devido à sua ligação a vários campos. Neste sentido, alguns dos agentes, que estão envolvidos no episódio da construção da ciência relativo às Pastagens Semeadas Biodiversas, estão ligados a vários campos. Por exemplo, Tiago Domingos apresenta uma identidade constituída no campo de controlo simbólico, como investigador no Instituto Superior Técnico, mas tem também ligações ao campo da economia, enquanto gestor de uma empresa agrícola. Estes aspetos conferem-lhe um determinado posicionamento no campo da economia, mas cuja ideologia é fundamentalmente determinada pela sua identidade como investigador, uma vez que o seu interesse primário é o avanço do conhecimento. Outro exemplo é o de David Crespo. Também ele apresenta uma identidade constituída no campo do controlo simbólico, como investigador do Instituto Nacional de Investigação Agrária, mas tem uma forte ligação ao campo da economia, como empresário. Essa ligação confere-lhe um posicionamento e uma ideologia que, posteriormente, passam a ser mais determinados pelo campo da economia. No caso de Humberto Rosa, a sua identidade está ligada ao campo de controlo simbólico, como investigador da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa; porém, no período em que foi Secretário de Estado, o seu

posicionamento e ideologia são também influenciados pelo Campo do Estado.

O texto em análise é assim um bom exemplo para ilustrar a complexidade da rede de relações que podem existir na construção da ciência, ao nível do campo de controlo simbólico, e para mostrar que o sucesso desta rede de relações no empreendimento científico depende em grande medida das identidades e ideologias dominantes.

Com base em conceitos metacientíficos parcelares, como os cinco que foram previamente apresentados, é possível chegar a um conceito metacientífico mais abrangente, como o que se segue, que envolve várias dimensões da construção da ciência:

> A ciência é um empreendimento que se desenvolve ao longo do tempo e que envolve procedimentos diversos e complementares de investigação e aplicação de conhecimentos de áreas/cientistas distintos, a conjugação concertada de interesses de natureza pessoal, social, económica e política e ainda o reconhecimento académico e social dos intervenientes e dos resultados.

Conceptualização e explicitação da metaciência em contexto de aprendizagem científica

Um dos principais objetivos que se pretendia alcançar com esta proposta de intervenção é o de tornar evidente que, tal como para os conhecimentos científicos, é possível ter conceitos complexos, além de conceitos simples, ligados aos conhecimentos metacientíficos. Por outro lado, é fundamental que eles sejam tornados explícitos nos textos curriculares. Não basta, como muitas vezes acontece, que a inclusão da construção da ciência no ensino das ciências seja feita principalmente como estratégia de motivação mas que ela seja tratada como um conhecimento importante a ser apreendido pelos alunos (como componente importante da literacia científica). Daí a necessidade de tornar explícitos os conceitos a adquirir. Se, no caso dos conhecimentos científicos, a falta de uma explicitação clara já é problemática, então no caso da metaciência ela ainda o é mais, em parte, pela reduzida, muitas vezes ausente, formação dos professores de ciências nesta área.

Além disso, os conhecimentos metacientíficos que se pretende que os alunos adquiram através desta proposta, ou em outras atividades que permitam a exploração da metaciência, devem ser articulados com conhecimentos científicos a que os alunos tiveram acesso com base em outras atividades realizadas. Neste caso, a inter-relação pode ocorrer com os conhecimentos científicos que estão relacionados com o 'aumento de matéria orgânica no solo' e o 'aumento do sequestro do carbono'. O esquema da Figura 4.12. contém exemplos de vários conhecimentos científicos relacionados com os benefícios ambientais das pastagens semeadas biodiversas. Com as devidas adaptações, o texto das Pastagens Semeadas Biodiversas (Apêndice 1) também pode ser utilizado no processo de ensino/aprendizagem de conhecimentos científicos e metacientíficos que são abordados em outros anos de escolaridade, por exemplo ao nível do 3.º ciclo. Neste caso, o nível de conceptualização do conhecimento metacientífico será necessariamente menor.

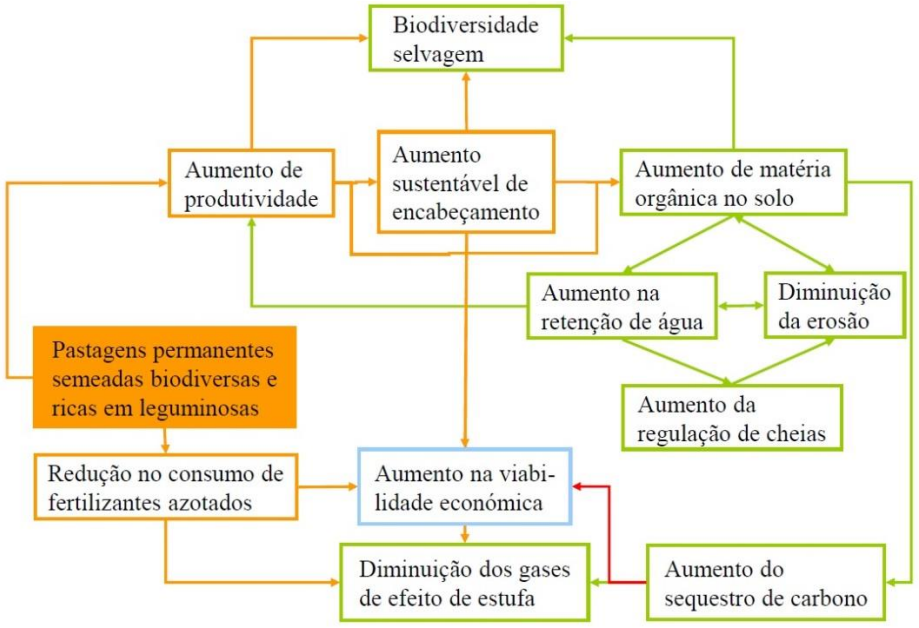


Figura 4.12. Conhecimentos científicos relacionados com os benefícios ambientais das pastagens semeadas biodiversas (Domingos, 2012).

Para a construção de atividades que envolvam a construção da ciência relacionada com diferentes conhecimentos científicos, para diferentes níveis de escolaridade, podem consultar-se diversos textos com relatos de cientistas e de descobertas científicas (ex., Fleming, 1945; Skoolt, 2011; Watson, 1987; Weiner, 2006; Wilson, 2014). Existem também artigos com exemplos de estratégias usadas para explorar a construção da ciência no ensino das ciências (ex., Ferreira, 2007; Forte et al., 2000; Lobo et al., 2001; Paixão et al., 2004). Estes exemplos foram concebidos por alunos em Didática das Ciências na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, usando como base textos extraídos de livros ou de notícias.

Referências

ACC (2006). *Methylene Blue, Part 2: The Chemist's Indicator*. American Chemistry Council. Recuperado em 2014, outubro 3, de <http://chlorine.americanchemistry.com/Science-Center/Chlorine-Compound-of-the-Month-Library/Methylene-Blue-Part-2-The-Chemists-Indicator>.

Amir, R., & Tamir, P. (1994). In-depth analysis of misconceptions as a basis for developing research-based remedial instruction: The case of photosynthesis. *The American Biology Teacher, 56*(2), 94-100.

Bell, L. R., Smetana, L., & Binns, I. (2005). Simplifying inquiry instruction: Assessing the inquiry level of classroom activities. *The Science Teacher, 72*(7), 30–33.

Bernstein, B. (1990). *Class, codes and control: Volume IV, The structuring of pedagogic discourse.* London: Routledge.

BSCS (Biological Sciences Curriculum Studies) (1968). *Plant growth and development: BSCS laboratory blocks*. Boston: Houghton Mifflin.

BSCS (Biological Sciences Curriculum Studies) (1995). *Developing biological literacy.* Dubuque, Iowa: Kendall.

BSCS (Biological Sciences Curriculum Studies) (2009). *The Biology teacher's handbook (4ª ed.).* Arlington, VA: NSTA Press.

BSCS (Biological Sciences Curriculum Studies) (2011). *BSCS Biology: A human approach* (4ª ed.). Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company.

Bybee, R. W. (2003). *The teaching of science: Content, coherence, and congruence*. Recuperado em 2014, outubro 3, de <http://brandwein.org/lecture/bybee>.

Campbell, N., & Reece, J. (2008). *Biology* (8ª ed.). San Francisco: Pearson/ Benjamin Cummings.

Casa das Ciências (2012). *Atividade experimental: Explorando a fotossíntese com discos de folhas flutuantes*. Recuperado em 2014, dezembro 21, de <http://www.casadasciencias.org/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=38042028&Itemid=23>.

Castro, S. (2015). *A construção da ciência na educação científica do ensino secundário: Análise dos manuais escolares e das conceções dos professores de Biologia e Geologia do 10.º ano*. Tese de Doutoramento, Instituto de Educação da Universidade de Lisboa (em desenvolvimento).

Chagas, I., & Oliveira, T. (2005). O que a investigação diz acerca do ensino da Biologia. Linhas e tendências de investigação. *Investigar em Educação*, *4*, 151-286.

CIBT (2008). *Photosynthesis and respiration in Elodea*. Cornell Institute for Biology Teachers. Recuperado em 2013, novembro 20, de <http://cibt.bio.cornell.edu/labs_and_activities/images/ Elodea.pdf>.

Ciência Hoje (2009, 23 de novembro). Níveis de dióxido de carbono da Ria Formosa em estudo. *Ciência Hoje*. Recuperado em 2014, dezembro 22, de <http://www.cienciahoje.pt/37265>.

College Board (2012). *AP Biology investigative labs: An inquiry-based approach – Teacher manual*. New York: Author. Recuperado em 2014, dezembro 16, de <http://www.collegeboard.com/html/ apcourseaudit/courses/pdfs/cb-biology-lab-manual-1-24-12.pdf>.

DEB (Departamento de Educação Básica) (2002). *Ciências físicas e naturais – Orientações curriculares para o 3.º ciclo do ensino básico*. Lisboa: Ministério da Educação.

DGEBS (Direção Geral dos Ensinos Básico e Secundário) (1991). Programa Ciências da Natureza: Plano de organização do ensino-aprendizagem (volume II). Lisboa: Ministério da Educação.

Domingos (atualmente Morais), A. M., Neves, I. P., & Galhardo, L. (1983). *Ciências do Ambiente: Livro do professor*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Domingos. T. (2012). *Sequestro de carbono no solo em pastagens sob-coberto florestal*. *Projectos Terraprima – Fundo Português de Carbono.* Recuperado em 2015, fevereiro 3, de <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ei/unccd-PT/pancd/resource/ficheiros/seef/2012fev29/projetos/120229-carbono-em-pastagens-matos-tiago domingos>.

Ferreira, N. (2013, 9 de novembro). A fórmula certa para recuperar solos pobres foi criada por portugueses. *Público*. Recuperado em 2014, dezembro 18, de <http://www.publico.pt/ciencias/jornal/a-formula-certa-para-recuperar-solos-pobres-foi-criada-por-portugueses-27375821>.

Ferreira, S. (2007). Uma visão integrada e global da ciência no currículo de ciências: Estratégias de discussão sobre um problema ambiental. *Revista de Educação, XV*(2), 97-124.

Ferreira, S., & Morais, A. M. (2014). A natureza da ciência em currículos de ciências: Estudo do currículo de Ciências Naturais do 3.º ciclo do ensino básico. In A. M. Morais, I. P. Neves & S. Ferreira (Eds.), *Currículos, manuais escolares e práticas pedagógicas: Estudo de processos de estabilidade e de mudança no sistema educativo* (pp. 79-105). Lisboa: Edições Sílabo.

Ferreira, S., & Morais, A. M. (2015). Conceptual demand of practical work: A framework for studying teachers' practices. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, 14*(2), 157-174.

Fleming, A. (1945). *Penicillin: Nobel lecture*. Recuperado em 2013, outubro 30, de <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1945/fleming-lecture.html>.

Forte, E., Henriques, A., Loureiro, T., Ricos-Olhos, F., & Morais, A. M. (2000). A construção da ciência e a relação CTS no ensino das ciências - Outro Vénus? Não obrigado! *Revista de Educação, IX*(2), 101-113.

Glaesser, J., Gott, R., Roberts, R., & Cooper. B. (2009). Underlying success in open-ended investigations in science: Using Qualitative Comparative Analysis to identify necessary and sufficient conditions. *Research in Science and Technological Education, 27*(1), 5–30.

Griffard, P., & Wandersee, J. (2001). The two-tier instrument on photosynthesis: What does it diagnose? *International Journal of Science Education, 23*(10), 1039-1052.

Lobo, S., Lopes, A., Neves, A., & Morais, A. M. (2001). A construção da ciência, a tecnologia e a sociedade na formação de professores: O Human Visible Project. *Revista de Educação, X*(1), 163-174.

MEC (Ministério da Educação e Ciência) (2013). *Metas Curriculares – Ensino Básico – Ciências Naturais – 5.º, 6.º, 7.º e 8.º anos*. Lisboa: Autor.

MEC (Ministério da Educação e Ciência) (2014). *Metas Curriculares – Ensino Básico – Ciências Naturais – 9.º ano*. Lisboa: Autor.

Melillán, M. C., Cañal, P., & Vega, M. R. (2006). Las concepciones de los estudiantes sobre la fotosíntesis y la respiración: Una revisión sobre la investigación didáctica en el campo de la enseñanza y el aprendizaje de la nutrición de las plantas. *Enseñanza de las Ciencias, 24*(3), 401-410.

Millar, R., & Osborne, J. (1998). *Beyond 2000: Science education for the future*. London: King's College London School of Education.

Morais, A. M., & Neves, I. P. (2007). A teoria de Basil Bernstein: Alguns aspectos fundamentais. *Práxis Educativa, 2*(2), 115-130.

Morais, A. M., & Neves, I. P. (2012). Estruturas de conhecimento e exigência conceptual na educação em ciências. *Revista Educação, Sociedade & Culturas, 37*, 63-88.

Paixão, I., Calado, S., Ferreira, S., Alves, V., & Morais, A. M. (2004). Continental drift: A discussion strategy for secondary school. *Science & Education, 13*(3), 201-221.

Roberts, R., Gott, R., & Glaesser, J. (2010). Students' approaches to open-ended science investigation: The importance of substantive and procedural understanding. *Research Papers in Education, 25*(4), 377-407.

Skloot, R. (2011). *A vida imortal de Henrietta Lacks*. Alfragide: Casa das Letras.

Soares, M. (2013, 15 de novembro). Desflorestação da Amazónia aumentou 28% no último ano. *Público*. Recuperado em 2014, dezembro 22, de <http://www.publico.pt/ecosfera/noticia/desflorestacao-na-amazonia-voltou-a-aumentar-1612654>.

Steane, R. (s.d.). *The respiration process*. Recuperado em 2014, outubro 7, de <http://www.biotopics.co.uk/humans/respro.html>.

Teixeira, R.F.M., Proença, V., Crespo, D., Valada, T., & Domingos, T. (2015). A conceptual framework for the analysis of engineered biodiverse pastures. *Ecological Engineering, 77*, 85–97.

Terraprima (2013). Pastagens semeadas biodiversas. Recuperado em 2014, dezembro 18, de <http://www.terraprima.pt/pt/pagina/3>.

Terraprima (2013, 30 de agosto). In Facebook <https://www.facebook.com/Terraprima.Protecting.Land>. Recuperado em 2015, fevereiro 3, de <https://www.facebook.com/Terraprima.Protecting.Land/photos/a.275347222494729.82557.219799131382872/693718783990902/?type=1&theater>.

Terraprima (2013, 16 de dezembro). In Facebook <https://www.facebook.com/Terraprima.Protecting. Land>. Recuperado em 2015, fevereiro 3, de <https://www.facebook.com/Terraprima.Protecting.Land/photos/a.275347222494729.82557.219799131382872/755140134515433/?type=1&theater>.

Watson, J. (1987). *A dupla hélice*. Lisboa: Gradiva.

Weiner, J. (2006). *O bico do tentilhão: Uma história da evolução nos nossos tempos*. Alfragide: Editorial Caminho.

Wilson, E. (2014). *Cartas a um jovem cientista*. Lisboa: Clube do Autor.

Ziman, J. (1984). *An introduction to science studies: The philosophical and social aspects of science and technology*. Cambridge: Cambridge University Press.

Apêndice 1
Pastagens Semeadas Biodiversas

As Pastagens Semeadas Biodiversas são um sistema de pastagens desenvolvido nos anos 70, em Portugal, pelo Engenheiro David Crespo. Diferem das pastagens convencionais por se fazer uso da diversidade e da complementaridade funcional das espécies de plantas para aumentar a produção vegetal.

A verdadeira dimensão destas pastagens, como inovação da Engenharia de Biodiversidade aplicada ao combate às alterações climáticas, só se traduz bem através do seu nome completo – *Pastagens Permanentes Semeadas Biodiversas Ricas em Leguminosas*.

"Permanentes" porque, depois de semeadas são mantidas por um largo período de tempo (pelo menos 10 anos). "Semeadas" porque são introduzidas sementes melhoradas e selecionadas, com maiores produtividades que as sementes existentes naturalmente nos sistemas. "Biodiversas" porque são semeadas com misturas de grande número de sementes e variedades (até 20) o que induz uma maior adaptabilidade a variações climáticas anuais, proporcionando uma maior resistência a fatores ambientais e uma maior capacidade fotossintética. "Ricas em Leguminosas", porque existe uma proporção significativa de leguminosas na mistura de sementes, que fixam azoto diretamente da atmosfera através de microrganismos do género *Rhizobium*, concentrados em nódulos nas raízes.

A conjugação destas características leva a que as Pastagens Semeadas Biodiversas permitam aumentos de produtividade sustentados, providenciando mais alimento para os animais e também aumentos da matéria orgânica (MO) no solo associados à decomposição do sistema radicular. Solos ricos em MO são menos suscetíveis à erosão, têm maior capacidade de retenção de água, são mais ricos em nutrientes e, consequentemente, mais férteis.

A maior capacidade fotossintética decorrente da biodiversidade tem igualmente um enorme impacto ambiental, dado permitir uma maior remoção de CO_2 da atmosfera.

Entre 2009 e 2012 foram semeados 50000 novos hectares de Pastagens Semeadas Biodiversas, contribuindo com o sequestro de 1 milhão de toneladas de CO_2. Os 1000 agricultores que providenciaram este serviço ambiental foram remunerados, tornando este projeto a primeira demonstração, a larga escala, de como a sociedade pode compensá-los pelos benefícios ambientais gerados por uma boa prática agrícola.

Adaptado de Terraprima, 2013
<http://www.terraprima.pt/>

A história seguinte, relatada por Tiago Domingos, Professor e investigador no Instituto Superior Técnico (IST), ajuda a compreender como esta inovação na área da Engenharia de Biodiversidade surgiu e alcançou sucesso e reconhecimento.

A história começa há 50-60 anos, na verdade começa há 2 ou 3 mil anos, com a agricultura do mediterrâneo em que o homem destrói o ecossistema, através da destruição da agricultura e da mobilização dos solos. Este facto leva à degradação da matéria orgânica e, portanto, o solo vai perdendo fertilidade e vai sendo erodido o que, finalmente, leva ao progressivo avanço do deserto. E este problema existia por todo o mediterrâneo e também em Portugal, em particular no Sul, no Alentejo.

Para que o país fosse autossuficiente em cereais, criou-se a ideia de que a coisa certa para se fazer no Alentejo era trigo. Trigo ou outro cereal. Havia depois um período de rotação em que vinha a pastagem natural, que correspondia ao período de pousio. Os preços dos cereais eram inflacionados de modo a promover a sua cultura. Mais tarde, com a entrada na então CEE e com os acordos mundiais de comércio, os preços desceram e a cultura dos cereais deixou de ser rentável. Mas, embora perdendo dinheiro e por questões culturais, continuou-se a semear cereais.

Nos anos 60, começou a haver a ideia de que se podia gerir as pastagens de outra maneira. David Crespo, na altura investigador no Instituto Nacional de Investigação Agrária (INIA), teve uma bolsa para ir para a Austrália onde as pastagens eram feitas com espécies do Mediterrâneo melhoradas pelos processos tradicionais, em particular, usando o trevo-subterrâneo, que depois de produzir as sementes, enterra ele próprio essas sementes na terra. Ao regressar a Portugal e entusiasmado com o que tinha aprendido, começou a semear o trevo-subterrâneo, e a fazer vários ensaios. Experimentava diferentes variedades, e usava diferentes níveis de fertilizante e ia observando os resultados. E um dia houve um engano e houve uma contaminação. Alguns talhões ficaram com misturas e o que ele constatou, ao chegar ao final do ano, é que o talhão com a mistura tinha produzido mais biomassa do que os talhões com uma única variedade de semente. E isto definiu o resto da sua vida de investigação, passando a trabalhar nesta questão da biodiversidade. Nesta linha foi continuando a investigar,

semeando à medida que percebia melhor quais eram as misturas mais produtivas. E, nos anos 80, eu acho que em muitos aspetos ele já tinha uma ideia bastante clara de como é que isto podia funcionar. Tanto assim que há pastagens que ele semeou na sua herdade, nessa altura, que ainda hoje estão lá sem terem sido ressemeadas.

No fundo, ele sempre teve uma perspetiva mais de engenheiro, de resolver os problemas. Investigava, mas estava mais interessado em encontrar soluções práticas. Estes trabalhos vieram publicados na Revista da Sociedade Portuguesa de Pastagens e Forragens, mas ele nunca publicou em revistas científicas internacionais. Quando foi para Roma, ligado à FAO [*Food and Agriculture Organization*], tinha a responsabilidade do apoio técnico em pastagens a uma série de regiões no mundo e o seu nome passou a ser conhecido em grande medida pelo trabalho que aí realizou. A internacionalização dele não veio, assim, através do que é mais habitual para cientistas, que é publicar em revistas internacionais e ir a conferências, mas pelo facto de estar num organismo mundial que define políticas e que faz assistência técnica.

No princípio dos anos 90, e com o apoio do filho, João Paulo Crespo, decidiu criar uma empresa – a Fertiprado – para fazer a comercialização das sementes biodiversas, vendendo diretamente aos agricultores. E para o sucesso desta empresa foi fundamental a ligação entre David Crespo, o cientista-engenheiro que tinha o conhecimento, e o filho, com o espírito comercial, de dinamismo empresarial. Entretanto, David Crespo deixa a FAO, e reforma-se do INIA, e deixa de ser investigador para se dedicar apenas à empresa. A Fertiprado estava a crescer e já havia agricultores a perceber que, de facto, valia a pena. Contudo, como acontece com as inovações tecnológicas, após uma fase de crescimento, até 2004/2005, a curva logística, que começou exponencialmente, começa a saturar. Por falta de formação técnica, capacidade de investimento, falta de visão de futuro, falta de dinamismo, e ainda por questões culturais, a maior parte dos agricultores não queria usar o sistema.

De forma a persuadir os agricultores relativamente a este sistema, montou-se então um consórcio com apoios comunitários para demonstração agrícola em Portugal e que envolveu, entre outros, a Fertiprado, o INIA e a Universidade de Évora. Foram desenvolvidos dois projetos em 2000, e em oito locais (um dos

quais na Quinta da França, uma quinta de família que comecei a gerir em 93/94) escolheu-se uma grande parcela de terreno que se dividiu em duas partes. Numa dessas partes manteve-se um sistema tradicional das pastagens naturais e na outra fez-se o sistema das pastagens biodiversas. O importante deste processo é que isto tinha de ser feito com os agricultores e também ser suficientemente grande para ter o pastoreio, que é uma componente fundamental. Fez-se assim, pela primeira vez, uma experiência controlada com o sistema completo. Claro que isto não é tão controlado como uma experiência em laboratório porque num terreno grande não se consegue ter duas metades iguais, não se consegue ter pastoreio exatamente igual, etc.

Em 2002 o IST, sob minha responsabilidade, propôs uma candidatura ao programa *Life*, de financiamento europeu na área de ambiente. Este projeto, o projeto *Extensity*, partia de uma rede de dez explorações agrícolas, incluindo a Quinta da França e a Herdade dos Esquerdos, gerida por David Crespo, e pretendia criar uma rede maior. Tinha também um número muito grande de parceiros, incluindo a Fertiprado, o INIA, dois organismos do Ministério da Agricultura, a CAP, a Liga para a Proteção da Natureza e a DECO. Portanto, tinha um leque muito amplo daquilo que se chamam *stakeholders*, partes interessadas a nível social, o que é muito importante para a aceitação de coisas novas. Um dos objetivos do projeto *Extensity* – Sistemas de Gestão Ambiental e de Sustentabilidade na Agricultura Extensiva – era analisar e promover práticas sustentáveis na agricultura. Nesse âmbito, analisámos cuidadosamente as pastagens semeadas biodiversas do ponto de vista económico e ambiental, tendo concluído pelas suas vantagens em ambas as vertentes.

Esta análise foi principalmente realizada por um aluno meu de doutoramento, na área do ambiente. Por um lado, tratava-se de medir exatamente o efeito de melhoria de sequestro de carbono e, por outro lado, também, de uma forma integrada todos os efeitos económicos e ambientais do sistema. Neste processo, foi fundamental haver a tal experiência controlada em oito locais. Estavam as pastagens naturais e estavam as semeadas biodiversas, faziam-se análises de solos dos dois lados, via-se a evolução de matéria orgânica, fez-se o modelo e viu-se claramente o aumento de matéria orgânica, que era muito maior nas semeadas biodiversas e, portanto, ficava mais carbono no solo do que nas outras. E, portanto, havia o serviço de sequestro, pois estas pastagens capturam mais

dióxido de carbono que as convencionais, evitando a acumulação de parte deste gás que contribui para o efeito de estufa e para o aquecimento global.

O modelo em que mostrávamos que aumentava a matéria orgânica no solo e o sequestro de carbono foi publicado em 2010 numa revista internacional, a *Ecological Modelling*. E o facto de termos publicado os resultados da comparação, em *peer reviewed*, foi fundamental para que houvesse validação de conhecimento e, portanto, o nosso sistema de sequestro de carbono fosse aceite internacionalmente. Veio uma comissão técnica das Nações Unidas que não levantou problemas relativamente aos nossos cálculos para as pastagens semeadas biodiversas.

Em 2005-2011, é secretário de estado do ambiente o professor de biologia na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Humberto Rosa. Eu já o conhecia, pois Humberto Rosa, como professor da Faculdade, fez parte da comissão de aconselhamento da avaliação, da qual eu fui um dos coordenadores, dos serviços de ecossistema em Portugal no âmbito do *Millennium Ecosystem Assessment*. Em 2006, pedi para falar com ele e disse-lhe que o sistema que estávamos a usar era fantástico, bom para o ambiente e bom em termos económicos (uma solução *win-win*), que Portugal precisava de cumprir o Protocolo de Quioto e que este sistema ajudava em termos de sequestro de carbono mas com imensos outros benefícios. Como político, que é cientista, percebeu imediatamente e deu todo o apoio que era necessário. Logo depois, no dia mundial do ambiente, ele foi à Herdade dos Esquerdos visitar a Fertiprado, o que deu grande visibilidade pública.

Além disso, a visibilidade foi ainda mais evidente, quando em 2006 se estava a negociar as obrigações que as empresas portuguesas deviam ter em termos de Protocolo de Quioto. Sendo que o maior emissor de gases de efeito de estufa é o setor elétrico, a maior empresa do setor elétrico em Portugal, a EDP, tinha interesse em mostrar que havia outras formas de cumprir Quioto para além da redução das emissões do setor elétrico. Ao sabermos deste interesse da EDP, propusemos fazer um projeto de sequestro de carbono, na Quinta da França, combinando pastagens semeadas biodiversas, sementeira direta e ainda uma coisa que sempre foi mais habitual falar-se em termos de sequestro de carbono, que era floresta. Foi Humberto Rosa, enquanto secretário de estado do ambiente, que

apadrinhou este projeto. E houve cerimónia de lançamento, com a sua presença e a presença de jornalistas. Deu uma notícia de meia página no *Público* e tudo isto foi importante, em termos de visibilidade.

E foi muito importante a componente política, foi até um momento raro, em que o ambiente e a agricultura, como ministérios, trabalharam em conjunto. Foi uma conjugação de vontades, fruto em grande medida do projeto Extensity, que funcionou muito bem. Quando está tudo de acordo, do ponto de vista político tudo se torna mais viável.

O Fundo Português de Carbono abriu um concurso e a Terraprima – Serviços Ambientais, uma *spin-off* do IST, teve dois projetos financiados relacionados com as pastagens e ainda um terceiro relacionado com a forma como se faz o controlo dos matos, mas que também tem a ver com a questão da não mobilização do solo. No seu conjunto, estes projetos envolveram cerca de 1400 agricultores e 130 mil hectares e permitiram à Terraprima ganhar, em 2013, o concurso da Comissão Europeia "Um Mundo Que me Agrada com um Clima que me Agrada", para a "melhor solução para o clima".

Toda esta história remete-nos para a ciência ecológica e levanta algumas questões relacionadas com a evolução nos próprios procedimentos de investigação. Na área da biodiversidade, uma das questões centrais da ecologia, os primeiros modelos matemáticos que se fizeram para a interação entre espécies, diziam que se diferentes espécies estivessem a usar o mesmo recurso, só a que fosse mais eficiente a usar esse recurso ganhava e as outras eram eliminadas (o que se chama exclusão competitiva). As equações matemáticas que nós temos para descrever isto dizem-nos que se eu tenho dez recursos diferentes, na melhor das hipóteses posso ter dez espécies diferentes. Porque cada uma delas vai estar especializada num recurso. Mas a verdade é que tenho muitas mais. É o paradoxo do plâncton de que falava Hutchinson. Como isso está contra o paradigma vigente (entendido no sentido de Kuhn) passou a ser um puzzle, passou a ser um tema de investigação legítimo. Durante décadas foram-se descobrindo muitas explicações de porque é que mesmo que elas só tenham um recurso, pode haver muitas espécies diferentes e uma não exclui as outras.

No caso das pastagens, posso ter só um nutriente limitante e depois tenho produtores primários, plantas. Na ausência do herbívoro, a espécie mais

competitiva acaba por dominar as outras todas. Acaba por ficar uma monocultura. Se eu tiver o herbívoro, ele equilibra e mantêm-se todas. Isto é uma coisa que em ecologia se chama a hipótese do nível de perturbação intermédio. O herbívoro considera-se uma perturbação. Se eu não tiver herbívoro, eu não tenho perturbação e ganha uma das espécies. Se eu puser o herbívoro a pastorear muito, ganha a que tem mais resistência à herbivoria. Se eu fizer níveis intermédios de pastoreio, consigo mantê-las todas. Este é um dos segredos das pastagens semeadas biodiversas.

Por outro lado, as pastagens semeadas biodiversas vivem da coexistência entre leguminosas e gramíneas. As leguminosas são importantes porque vão buscar azoto à atmosfera e as gramíneas são importantes porque usam esse azoto e assim são mais ricas em energia. E portanto os animais precisam das duas. Adicionalmente, as gramíneas das pastagens são como o trigo e a cevada, têm um porte ereto, enquanto as leguminosas, nomeadamente os trevos, têm um porte prostrado. O que quer dizer que na ausência de pastoreio, ou com pastoreio insuficiente, as gramíneas abafam as leguminosas. E portanto desaparecem as leguminosas, vai-se o azoto e perde-se o sistema todo. Fazendo o pastoreio suficiente, mantém-se o equilíbrio competitivo entre gramíneas e leguminosas. É um equilíbrio fino, é uma decisão de todas as semanas. Se as gramíneas já estão a dominar, tenho de pastorear.

Há ainda muitos outros aspetos que nos interessa investigar. Por exemplo, uma das linhas de investigação tem a ver com a pobreza em fósforo dos solos mediterrânicos, dos solos portugueses, sendo que o fósforo é essencial para as leguminosas, nomeadamente porque ele é necessário para o *Rhizobium*. A maior parte do adubo que nós pomos no solo não serve para nada porque fica adsorvido nas partículas do solo e não está biodisponível. Não pode ser usado pelas plantas. Uma das coisas que nós estamos a começar – submetemos agora candidaturas com uma professora da Faculdade de Ciências de Lisboa, a Cristina Cruz – é investigar consociações entre fungos e bactérias que libertam fósforo.

Outra linha de investigação tem a ver com a otimização do pastoreio, onde surgem questões de transferência de conhecimento. O David Crespo combina uma visão científica com muita experiência de campo, tem o que Polanyi chamou de conhecimento tácito. Ninguém como ele consegue gerir tão bem as pastagens.

Neste momento, a única solução é fazer experimentação e monitorização sistemática para se ser mais fino na escolha de quantos animais meter e em que momento.

Aqui põe-se a questão de quem é que é produtor de conhecimento e quem é que é reprodutor de conhecimento. O conhecimento estava com David Crespo, as pessoas que ele preparou não o produziram. E a verdade é que ele teve uma experiência de vida e de investigação muito mais ampla que essas pessoas - teve uma vida de cientista, fez experiências controladas, apesar de não as ter publicado em revistas internacionais. O seu conhecimento está muito assente num conhecimento muito forte de História Natural, naturalista, de quem andou sempre no terreno e andou sempre a observar. E a tendência seguida nos departamentos de biologia nas últimas décadas, não é a do conhecimento naturalista. É a da especialização numa única espécie, frequentemente focado em questões muito restritas. A sua posição epistemológica está em contracorrente, não dá carreira, não dá artigos e, desta forma fica fora do sistema. A postura de David Crespo, mais prática, fora do sistema científico, de resolver os problemas dos agricultores, não gera *output* científico, não gera revistas ISI, não gera carreiras científicas. E o que também aconteceu, e que é um problema grave, é que toda esta área das pastagens foi sempre negligenciada no ensino superior na área agrária, em particular nas universidades.

Adaptado de entrevista realizada a Tiago Domingos,
a 22/01/2015

Notas biográficas

Ana Maria Morais

Professora catedrática jubilada e cocoordenadora do Grupo ESSA (Estudos Sociológicos da Sala de Aula) do Instituto de Educação da Universidade de Lisboa. É licenciada em Biologia pelas Faculdades de Ciências de Lisboa e do Porto e doutorada em Sociologia da Educação pelo Instituto de Educação da Universidade de Londres. É autora e coautora de publicações em aprendizagem na sala de aula, formação de professores, desenvolvimento curricular e outras áreas, nos campos da educação em ciências e da sociologia da educação.

Isabel Pestana Neves

Professora associada aposentada do Instituto de Educação da Universidade de Lisboa e cocoordenadora do Grupo ESSA. É licenciada em Biologia pela Faculdade de Ciências da Universidade de Coimbra e doutorada em Didática das Ciências pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. É autora e coautora de publicações em aprendizagem na sala de aula, formação de professores, desenvolvimento curricular e outras áreas, nos campos da educação em ciências e da sociologia da educação.

Sílvia Ferreira

Professora de Biologia e Geologia do ensino básico e secundário, atualmente destacada como assessora no Conselho Nacional de Educação, e investigadora do Grupo ESSA. É licenciada em Ensino da Biologia e da Geologia, mestre em Didática das Ciências pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e doutorada em Didática das Ciências pelo Instituto de Educação da Universidade de Lisboa. É autora e coautora de publicações nas áreas da aprendizagem na sala de aula e do desenvolvimento curricular.

Margarida Afonso

Professora adjunta da Escola Superior de Educação de Castelo Branco e investigadora do Grupo ESSA. É licenciada em Biologia, Ramo Educacional, pela Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, mestre e doutorada em Didática das Ciências pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. É autora e coautora de publicações em aprendizagem na sala de aula, formação de professores e educação científica nos primeiros anos de escolaridade.

Preciosa Silva

Professora de Biologia e Geologia do ensino básico e secundário e investigadora do Grupo ESSA. É licenciada em Ensino da Geologia, mestre em Didática das Ciências pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e doutorada em Didática das Ciências pelo Instituto de Educação da Universidade de Lisboa. É coautora de publicações nas áreas da aprendizagem na sala de aula e do desenvolvimento curricular.

Leonor Saraiva

Professora adjunta da Escola Superior de Educação de Setúbal, doutoranda em Didática das Ciências no Instituto de Educação da Universidade de Lisboa e investigadora do Grupo ESSA. É licenciada em Biologia, Ramo Educacional, pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e mestre em Metodologia do Ensino das Ciências pela Escola de Educação da Universidade de Boston (EUA). É autora e coautora de publicações em aprendizagem na sala de aula, formação de professores e educação científica nos primeiros anos de escolaridade.

Sílvia Castro

Técnica Superior na Direção-Geral da Educação, desempenhando funções na área de desenvolvimento curricular, doutoranda em Didática das Ciências no Instituto de Educação da Universidade de Lisboa e investigadora do Grupo ESSA. É licenciada em Biologia – ramo científico, pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e mestre em Didática das Ciências pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. De 1985 a 2001 foi professora de Biologia e Geologia do ensino básico e secundário.

Richard Duschl

Richard A. Duschl is currently the Waterbury Chair Professor, College of Education, Penn State. Professor Duschl's present research focuses on establishing science assessment learning environments that focus on the role of students' argumentation processes and the design of epistemic communities in classrooms. This research is an extension of his NSF funded PRACCIS Project and Project SEPIA (Science Education through Portfolio Instruction and Assessment) research. He recently served as Chair of the National Research Council committee that wrote the research synthesis report Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grades K-8 (National Academies Press, 2007) and currently is a member of the national leadership group for the 'Next Generation Science Standards'.

Robin Millar

Robin Millar is Emeritus Professor of Science Education at the University of York. He has a degree in theoretical physics and a PhD in medical physics. He was Director from 2006-14 of the Centre for Innovation and Research in Science Education. His main research interests are teaching and learning in science (especially physics), science curriculum design and development, the role of practical work in science teaching and learning, and the assessment of science learning. He has directed several large research projects in science education, and has also played a leading role in several major curriculum development projects, including Salters' GCSE Science, Science for Public Understanding and Twenty First Century Science. He is a member of the Science Expert Group for the OECD PISA 2015 study.

Michael Young

Michael Young is Emeritus Professor of Education with the School of Lifelong Education & International Development at the UCL Institute of Education, London, and Visiting Professor at the Universities of Bath and the Witwatersrand, through the Wits EPU, and Beijing Capital Normal University. His main research interests are in the sociology of knowledge and its application to the curriculum with particular reference to the post compulsory phase of education and training. He has a continuing interest in the role of qualifications and is a Research Advisor/Consultant to the City and Guilds of London Institute, the OECD and the Centre for Educational Sociology, University of Edinburgh.

Conselho Nacional de Educação
Rua Florbela Espanca
1700-195 Lisboa
Portugal

Tel.: (+351) 217 935 245
cnedu@cnedu.pt
www.cnedu.pt