

ALGUMAS PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA

Ana Maria Morais¹
Isabel Pestana Neves¹
Sílvia Ferreira¹
Margarida Afonso¹
Preciosa Silva¹
Leonor Saraiva¹
Sílvia Castro¹

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 concepções alternativas sobre esta temática (ex., Griffard & Wandersee, 2001). Melillán, Cañal e Veja (2006), numa revisão bibliográfica sobre este aspeto, enumeram diversas concepções 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 concepções 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 lembrados (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 atividade². Esta atividade permite explorar a interdependência entre animais e plantas, evidenciada pelo facto de as plantas absorverem o dióxido de carbono (CO₂) 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 CO₂, dado que muda de cor se o pH da solução se alterar (CIBT, 2008). É amarelo em soluções ácidas (presença de CO₂) e azul em soluções básicas (ausência de CO₂). 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.*

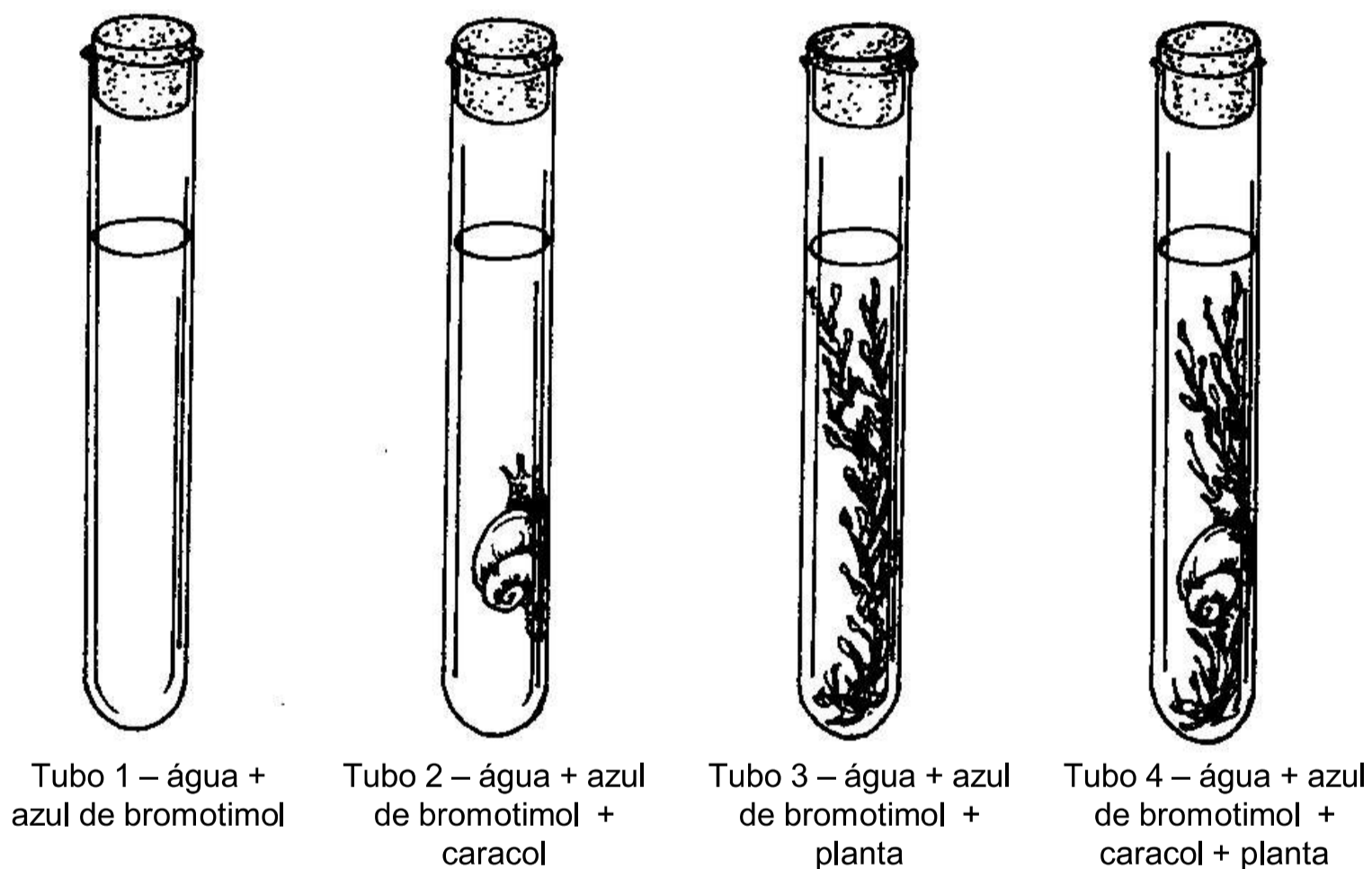


Figura 4.1. Montagem experimental da primeira atividade laboratorial (Domingos, Neves & Galhardo, 1983).

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 oxigênio 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 oxigênio, 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 oxigênio estreitamente ligado ao ciclo do carbono.

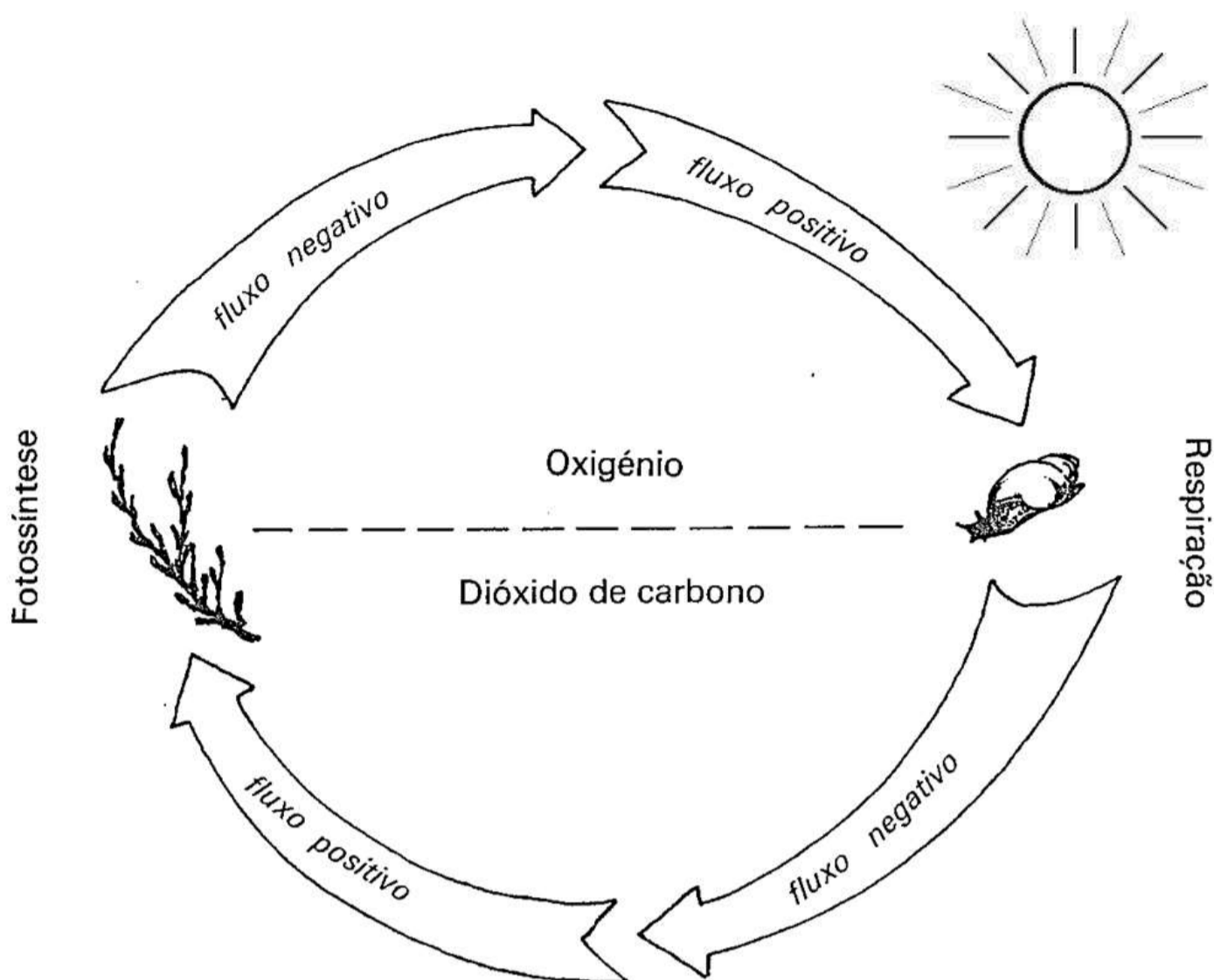


Figura 4.2. Fluxos de oxigênio e de dióxido de carbono entre animais e plantas, na presença de luz (adaptado de Domingos, Neves & Galhardo, 1983).

Segue-se uma terceira atividade, cuja montagem experimental e respectivos 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.

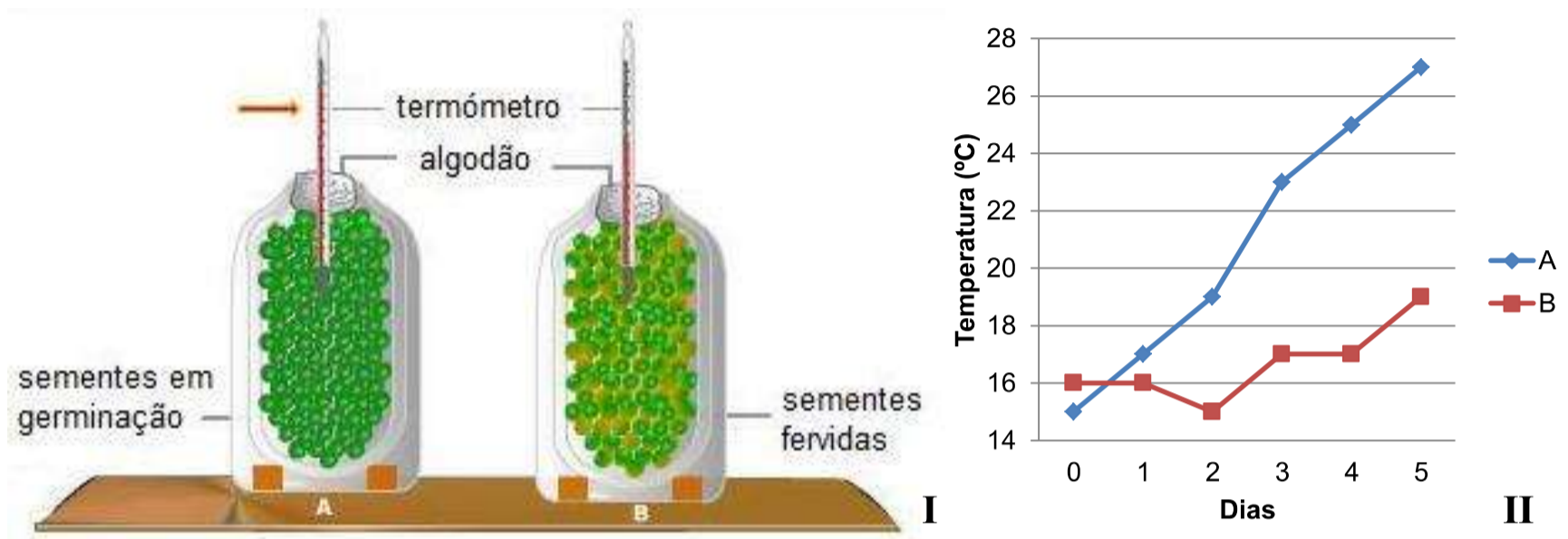


Figura 4.3. Montagem experimental (I) e possíveis resultados (II) da terceira atividade laboratorial (adaptado de Steane, s.d.).

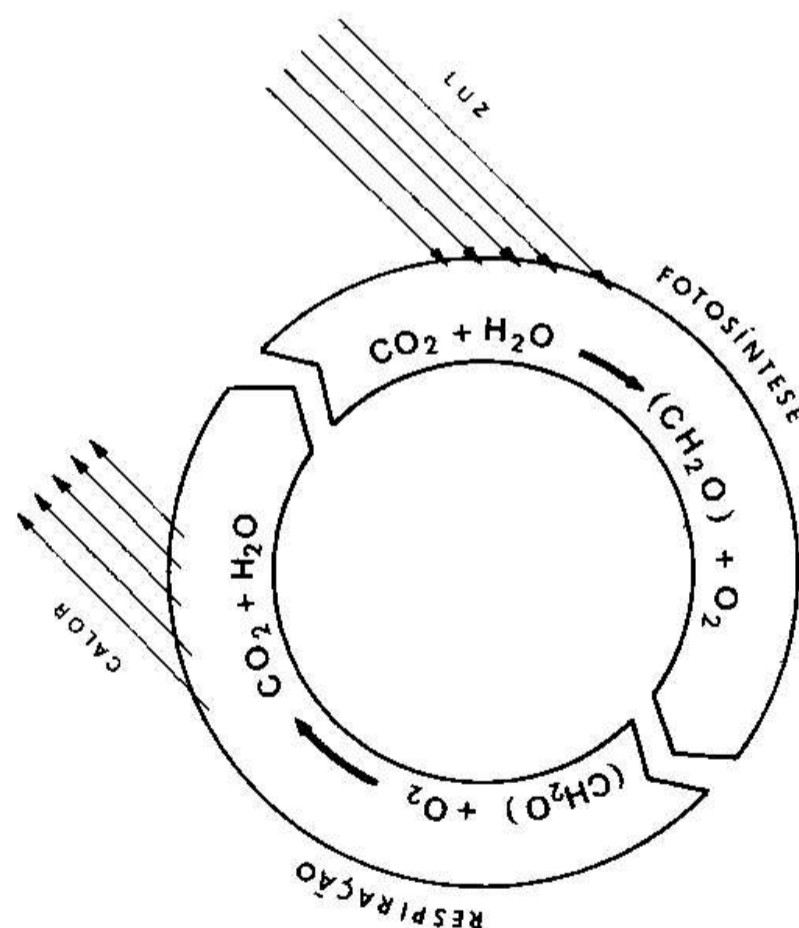


Figura 4.4. Inter-relação entre os processos de fotossíntese e de respiração (Domingos, Neves & Galhardo, 1983).

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 biológica³, a sua referência permite indicar o nível de organização mais representado⁴ 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	<p><u>Fotossíntese</u>: A energia luminosa é convertida em energia química que é armazenada em compostos orgânicos (inclui as reações fotoquímicas e o ciclo de Calvin).</p> <p><u>Respiração celular</u>: 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).</p>	<p>Fotossíntese: relacionar a taxa fotossintética com a intensidade luminosa, mediada, por exemplo, pela temperatura e CO₂.</p> <p>Relação fotossíntese/respiração: relacionar o ciclo de Calvin com o ciclo de Krebs.</p>	<p>Celular</p> <p>Molecular</p>
3.º ciclo	<p>O fluxo de energia e o ciclo de matéria na Biosfera são assegurados pela relação fotossíntese/respiração.</p>	<p>No estudo dos ecossistemas, relacionar o ciclo de matéria e de energia com a inter-relação fotossíntese/respiração.</p>	<p>Ecossistema</p>
2.º ciclo	<p><u>Fotossíntese</u>: Em presença da luz, os seres vivos com clorofila, consomem CO₂ e libertam o O₂ e, neste processo, fabricam matéria orgânica.</p> <p><u>Respiração</u>: Os seres vivos utilizam O₂ e libertam CO₂ e, neste processo, asseguram a sua sobrevivência.</p>	<p>No estudo da diversidade de plantas e animais, relacionar a libertação de O₂ e o consumo de CO₂ com a fotossíntese e o consumo de O₂ e a libertação de CO₂ com a respiração.</p>	<p>Organismo</p>
1.º ciclo	<p><u>Fotossíntese</u>: As plantas precisam de água, sais minerais e luz para sobreviverem.</p> <p><u>Respiração</u>: Os seres vivos precisam de oxigénio para sobreviverem.</p>	<p>No estudo dos fatores ambientais, relacionar alguns fatores abióticos (água, sais minerais, luz, temperatura, oxigénio) com a vida das plantas e dos animais.</p>	<p>Organismo</p>

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 perspectiva 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. Saliencia-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. Saliencia-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)
	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)
		Níveis crescentes de complexidade ↑
		Capacidades de processos científicos: - Formulação de problemas - Formulação de hipóteses - Planeamento experimental - Interpretação de resultados

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 °C), o primeiro na presença de luz (candeeiro) e o segundo às escuras. No terceiro e quarto conjuntos, as plantas seriam colocadas no frigorífico (5 °C), 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). Saliencia-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 bromotimol⁵. 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

Tubo	Resultados (cor do azul de bromotimol)
1	Amarelo
2	Amarelo
3	Azul
4	Amarelo

I

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 CO₂

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 CO₂, “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.

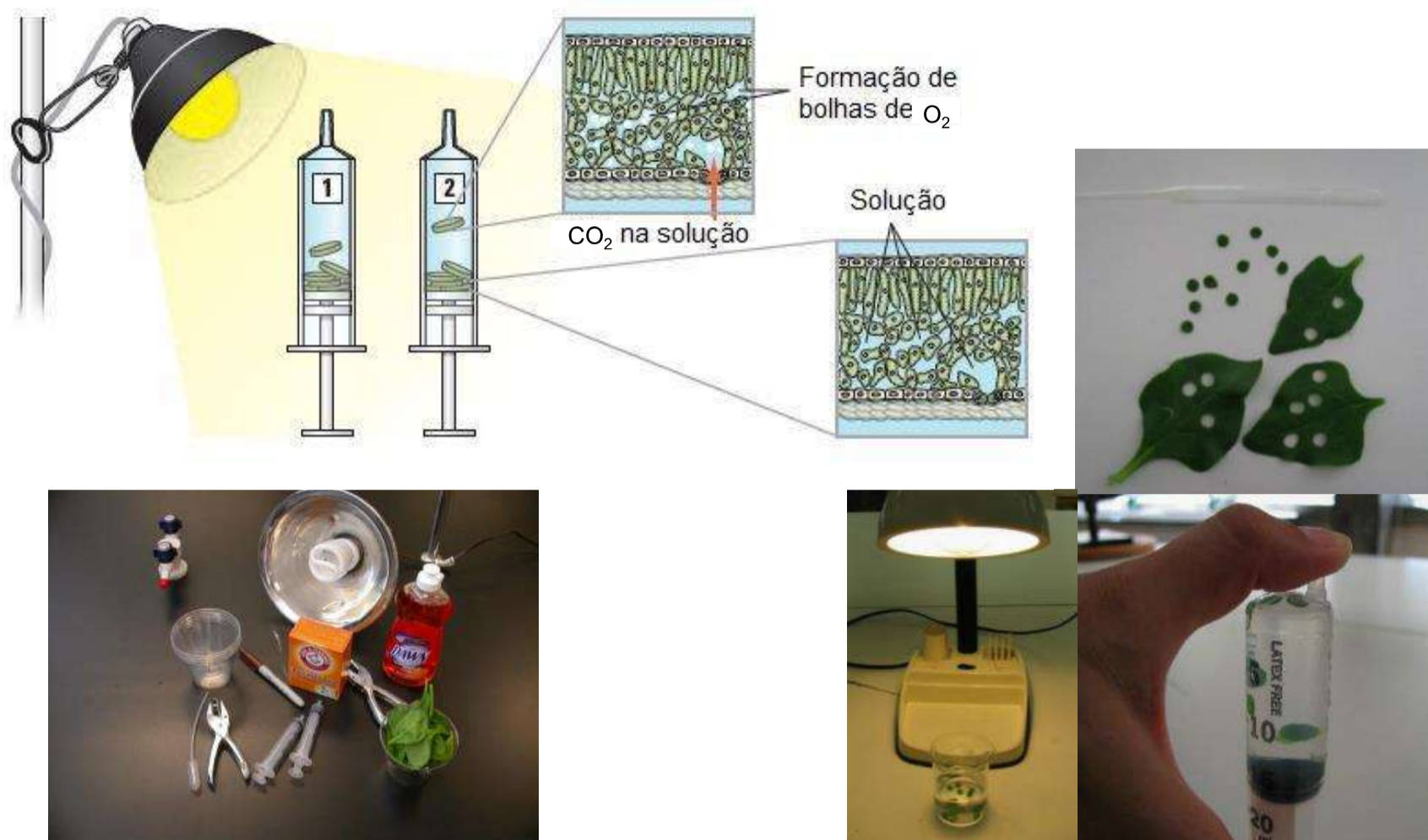


Figura 4.6. Material e alguns dos procedimentos da atividade laboratorial para o ensino secundário, com recurso a discos de folhas flutuantes (adaptado de Casa das Ciências, 2012, e de College Board, 2012).

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.

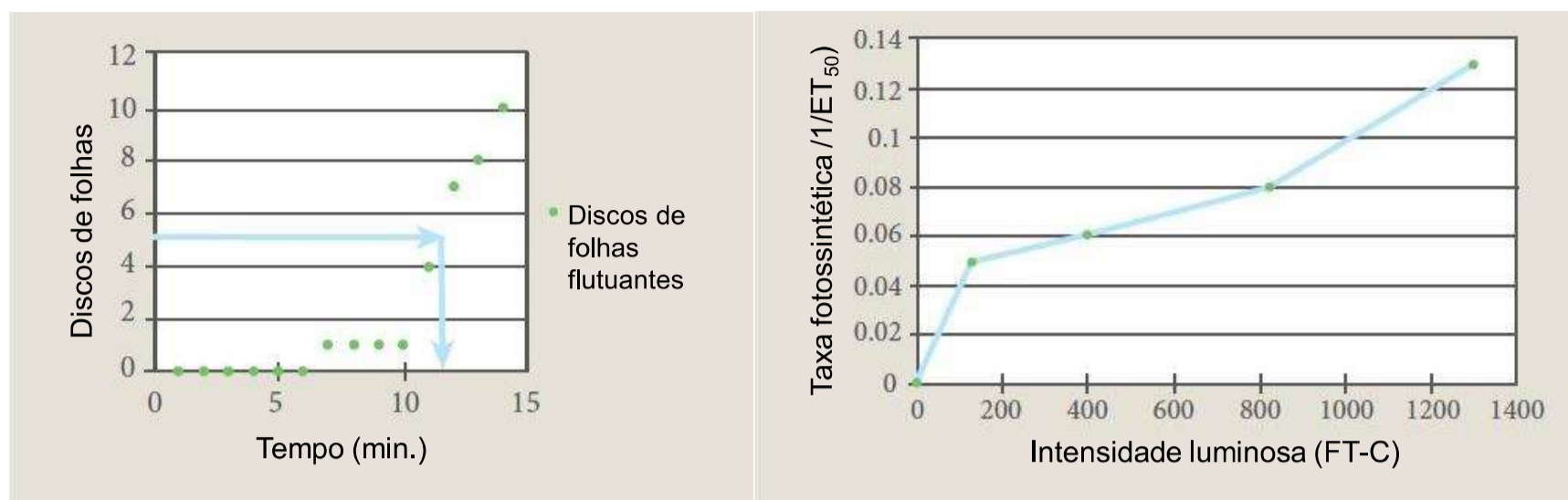


Figura 4.7. Alguns resultados da atividade laboratorial para o ensino secundário, com recurso a discos de folhas flutuantes (adaptado de College Board, 2012).

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.

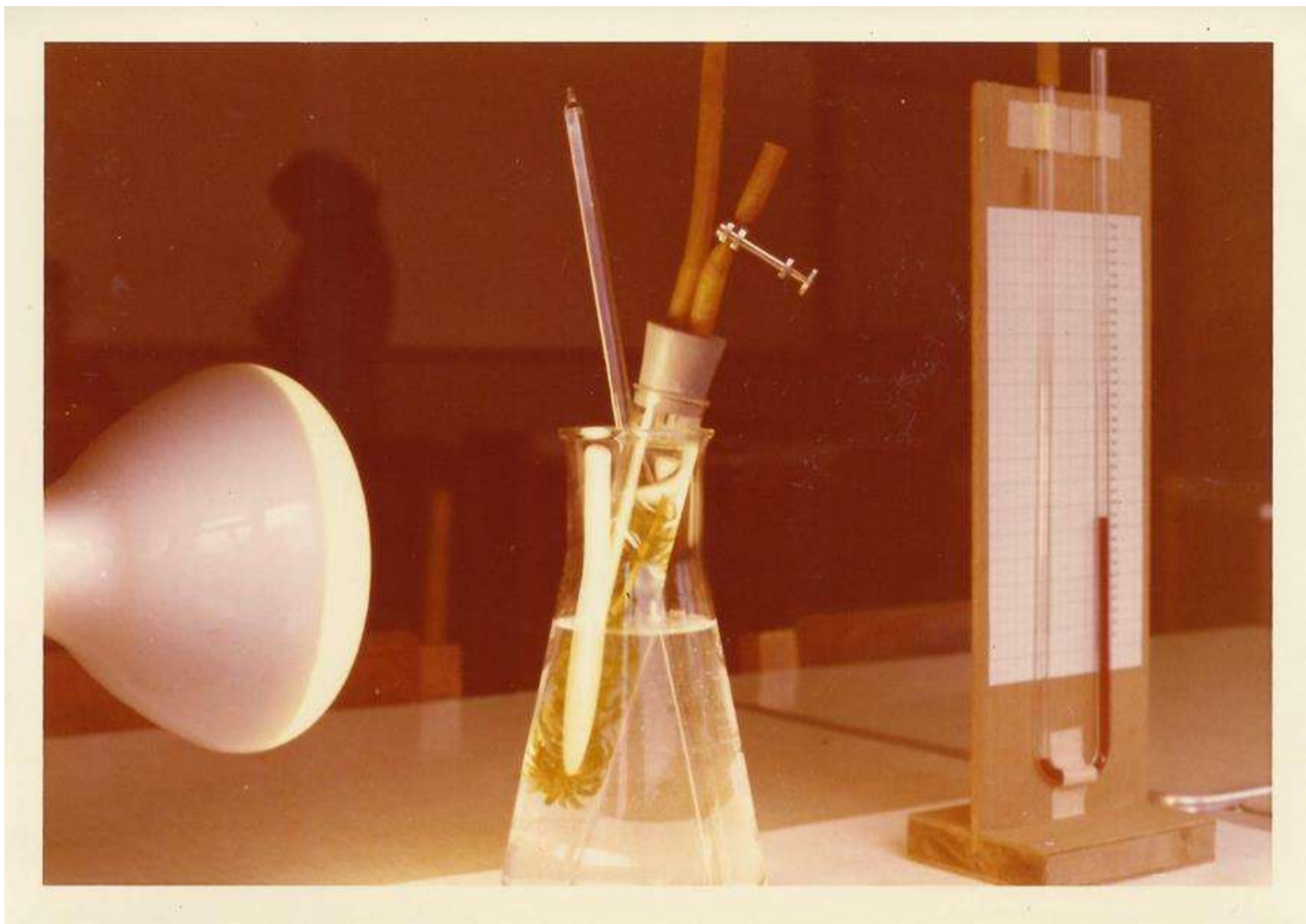


Figura 4.8. Montagem experimental da atividade laboratorial para o ensino secundário, com recurso a um manómetro (adaptado de BSCS, 1968).

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.).

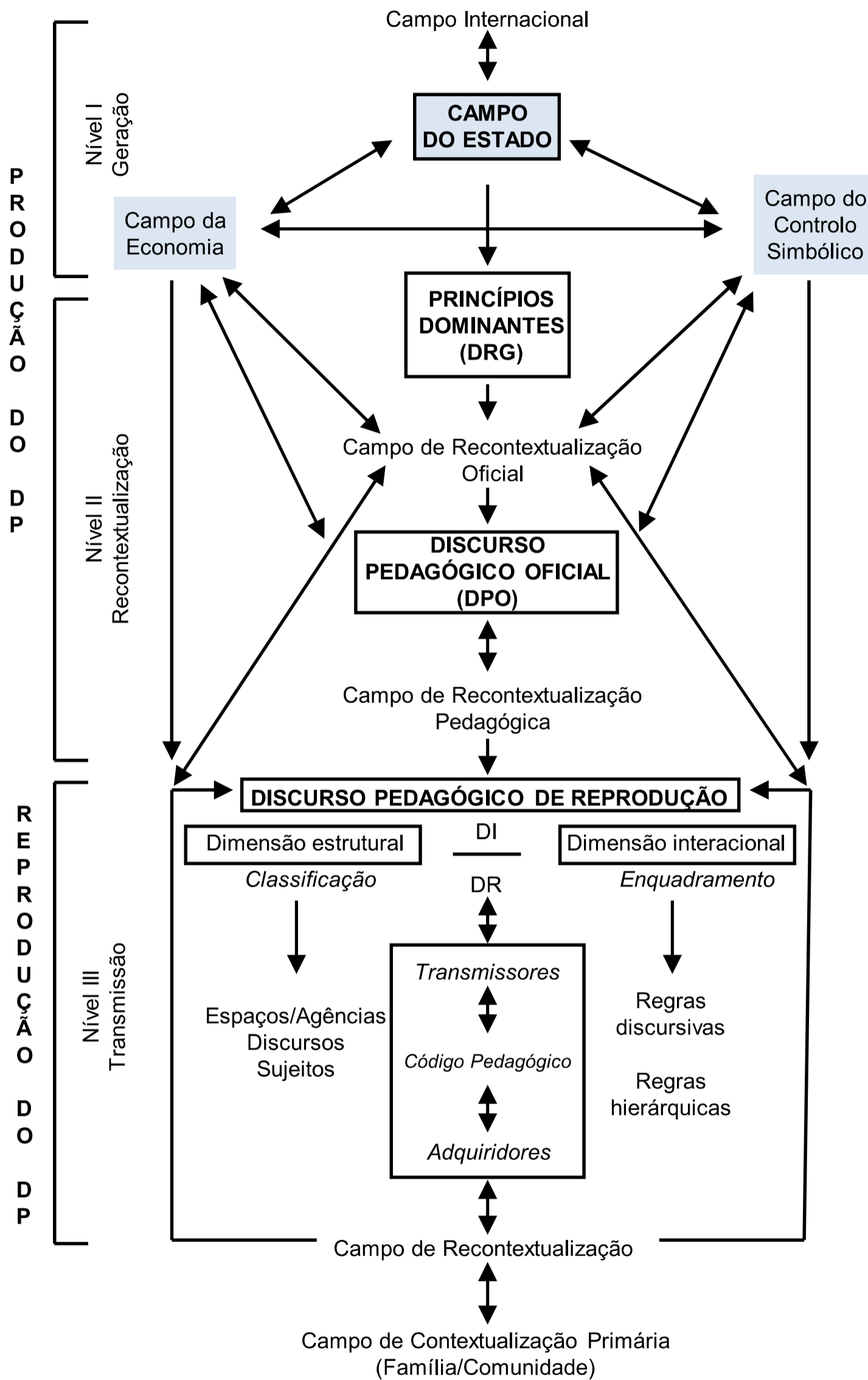


Figura 4.11. Modelo do discurso pedagógico de Bernstein (1990, adaptado por Moraes & Neves, 2007).

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.

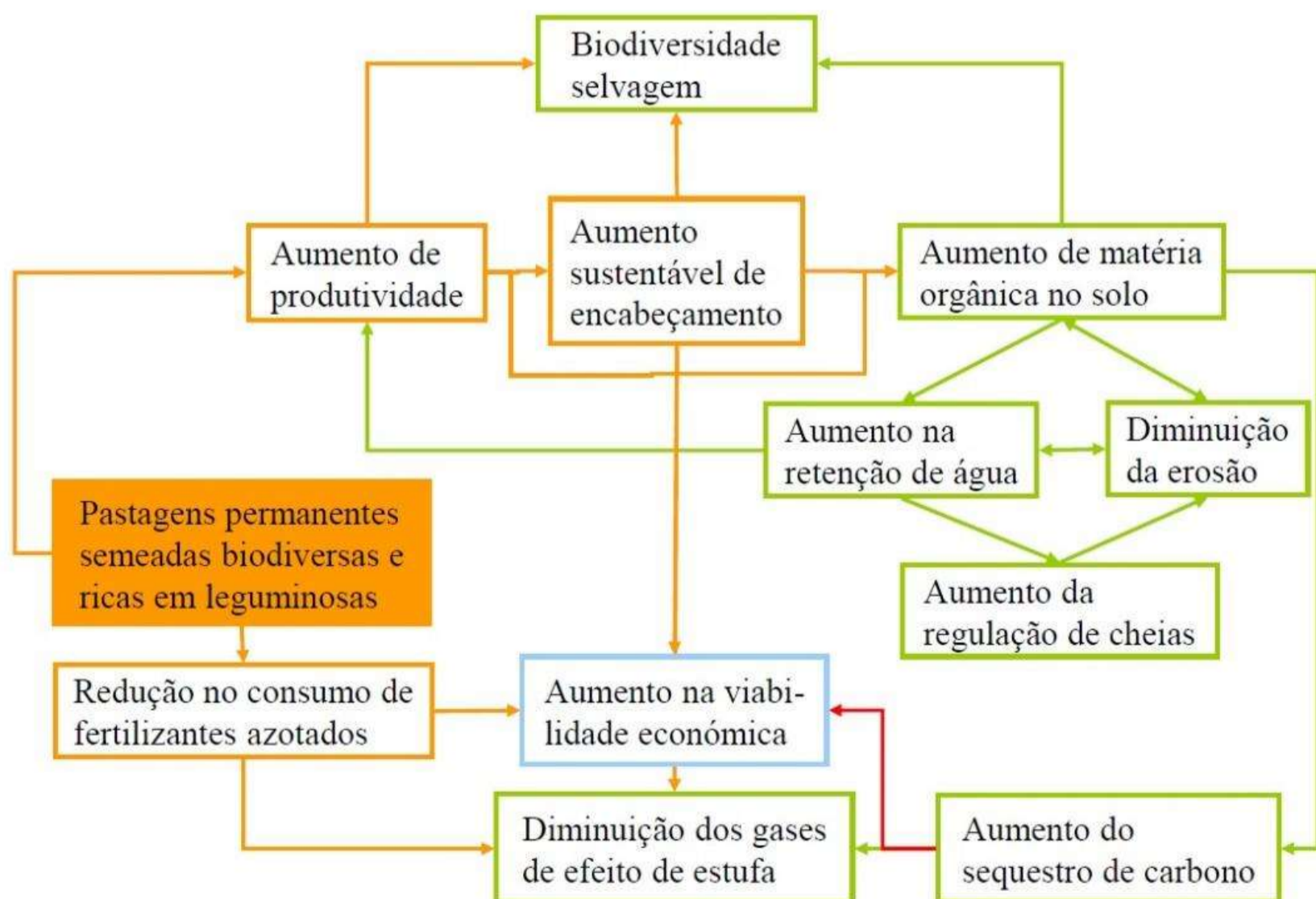


Figura 4.12. Conhecimentos científicos relacionados com os benefícios ambientais das pastagens semeadas biodiversas (Domingos, 2012).

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.
- DGEB (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., & Moraes, 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 Amazônia 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, conseqüentemente, mais férteis.

A maior capacidade fotossintética decorrente da biodiversidade tem igualmente um enorme impacto ambiental, dado permitir uma maior remoção de CO₂ 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 CO₂. 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.

- 5 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
- 10 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

15 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.

- 20 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
- 25 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
- 30 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,

35 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.

40 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
45 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.

50 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
55 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.
60 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
65 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

70 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.

80 Em 2002 o IST, sob minha responsabilidade, propôs uma candidatura ao programa *Life*, de financiamento europeu na área de ambiente. Este projeto, o projeto *Extensivity*, 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 *Extensivity* – 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 90 concluído pelas suas vantagens em ambas as vertentes.

95 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. 100 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.

105 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
110 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,
115 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
120 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
125 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,
130 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

135 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.

140 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.

145 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".

150 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.

165 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.

175 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, mantêm-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.

200 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
205 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
210 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
215 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.

220 Adaptado de entrevista realizada a Tiago Domingos,
a 22/01/2015