

1 2 9 0



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Beatriz Teixeira da Cunha Lopes Furtado

**VULCANISMO E FOTOSSÍNTESE: SUPORTES DA
VIDA NA TERRA**
O ENSINO DO VULCANISMO E DA OBTENÇÃO DE MATÉRIA
PELOS SERES AUTOTRÓFICOS

Relatório pedagógico no âmbito do Mestrado em Ensino de
Biologia e Geologia no 3.º ciclo do Ensino Básico e no Ensino
Secundário, orientado pela Professora Doutora Isabel Maria de
Oliveira Abrantes e pelo Professor Doutor Pedro Miguel Callapez
Tonicher e apresentado aos departamentos de Ciências da Vida e
Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade de Coimbra.

Setembro de 2023



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

**VULCANISMO E FOTOSSÍNTESE: SUPORTES DA VIDA NA TERRA
O ENSINO DO VULCANISMO E DA OBTENÇÃO DE MATÉRIA PELOS
SERES AUTOTRÓFICOS**

Beatriz Teixeira da Cunha Lopes Furtado

Relatório pedagógico no âmbito do Mestrado em Ensino de Biologia e Geologia no 3.º ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário, orientado pela Professora Doutora Isabel Maria de Oliveira Abrantes e pelo Professor Doutor Pedro Miguel Callapez Tonicher e apresentado aos departamentos de Ciências da Vida e Ciências da Terra da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Biologia e Geologia no 3.º ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário (Decreto-lei 79/2014, de 14 de Maio).

Setembro de 2023

Agradecimentos

Ao professor cooperante, Paulo Magalhães, pela companhia, pela paciência, pelo bom-humor e por sempre exigir que desse o meu melhor.

Aos orientadores científicos, Professora Doutora Isabel Abrantes e Professor Doutor Pedro Callapez Tonicher, por todo trabalho, apoio, disponibilidade e apreciações que me fizeram evoluir ao longo do estágio

Aos colegas de estágio e de mestrado, pelo companheirismo e apoio ao longo destes dois anos.

Aos alunos do 10.º A e do 10.º B, por me terem possibilitado a melhor primeira experiência como professora possível.

À Dra. Marisa, por me ter dado o apoio que eu precisava durante estes dois anos, por me fazer acreditar que eu era capaz.

Aos meus amigos, por ouvirem os meus desabafos, por celebrarem as minhas conquistas e por acreditarem em mim.

À Victória e à Nancy, por serem o meu porto seguro.

À minha família, por torcerem sempre por mim e, em especial, aos meus pais, por serem o melhor exemplo que eu podia ter do que é um bom professor, pelas conversas, pelos conselhos e pelo amor incondicional.

Vulcanismo e fotossíntese: Suportes da vida na Terra

O ensino do vulcanismo e da obtenção de matéria pelos seres autotróficos

Resumo

Existem grandes expectativas para a educação nas próximas décadas, relativamente a como se deve ensinar, aprender e quais as melhores formas de se prepararem os jovens para o futuro e as necessidades de uma sociedade diferente. Mas, para se educar e ensinar tem de se focar em quem aprende, o aluno. Foi com este objetivo em mente que a professora estagiária planificou as suas aulas, relativas aos temas “Vulcanismo” e “Obtenção de matéria pelos seres autotróficos”, do 10.º ano, em contexto do seu estágio pedagógico na Escola Secundária D. Duarte, no ano letivo 2022/2023, no âmbito do Mestrado em Ensino de Biologia e Geologia no 3.º ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário. De acordo com o contexto de cada turma e os conteúdos a serem lecionados, foi feita uma adaptação, quer na escolha das estratégias e de recursos, quer na formulação dos critérios, que estimulasse o envolvimento cognitivo e, simultaneamente, permitisse a inclusão de todos os alunos no processo de ensino-aprendizagem. As estratégias incluíram a segmentação da informação e envolvimento dos alunos nas aulas, o uso de um modelo de um ponto quente por parte dos alunos, na Geologia, o recurso a analogias que fossem familiares a todos os alunos, uma atividade sobre um caso atípico de fotossíntese na Amazónia e o uso de tabelas de síntese para uma compreensão holística do processo fotossintético. A avaliação dos alunos foi feita através da realização de um pré-teste e de um pós-teste, no início e fim das aulas assistidas, respetivamente. Também tiveram lugar a recolha de informação ao longo das aulas, a correção das atividades efetuadas pelos alunos e a realização de relatórios “V de Gowin”. Conforme o seu propósito, estes instrumentos de avaliação foram utilizados para fins de avaliação formativa e sumativa. Os resultados revelam um impacto positivo das aulas lecionadas pela professora estagiária, visível na melhoria significativa dos pós-testes e na evolução dos alunos na compreensão dos temas lecionados.

Palavras-chave: ciência; ensino; estágio pedagógico; fotossíntese; vulcanismo.

Volcanism and photosynthesis: Earth's life support

Teaching volcanism and matter production by autotroph organisms

Abstract

There are great expectations regarding the future of education for the next decades, on how to learn, how to teach and how to best prepare the youth for the future and needs of a different society. However, to educate and teach the focus must be on the learner. With this goal in mind, the intern teacher planned several classes concerning the 10th grade themes of "Volcanism" and "Matter production by autotroph organisms". These activities took place in the in the 2022/2023 school year, during their pedagogical training at the D. Duarte Secondary School, as part of the Master's in Teaching of Biology and Geology in the 3rd cycle of Basic Education and in Secondary Education. Attending to the context and needs of each class and the contents to be taught, not only the strategies and resources, but the assessment criteria were adapted to stimulate cognitive involvement while simultaneously guarantying every student was part of the teaching learning process. Some of these strategies included information segmentation and the involvement of students in the class, as well as a "hot spot" model in Geology, analogies that all students could relate to, an activity about an atypical case of photosynthesis in the Amazon and the use of synthesis tables to help students get a holistic understanding of the photosynthetic process. Students were evaluated by a pre-test and a post-test, before and after the supervised classes, respectively. They were also evaluated by the information the teacher gathered during the classes, including but not limited to activities and "Gowin's Vee" diagrams. The instruments' results were used according to their purpose, either for formative or summative evaluation. The results revealed the positive impact the intern teacher's lessons had, as seen on the post-test's improved results and the progress of the students' understanding of the themes.

Keywords: science; teaching; pedagogical internship; photosynthesis; volcanism.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice	vii
1. Introdução	1
2. Enquadramento teórico	3
2.1. Pedagogia	3
2.1.1. Teorias da aprendizagem	3
2.1.2. Planificação de aulas e gestão da sala de aula	7
2.1.3. Estratégias e recursos.....	8
2.1.4. Avaliação	20
2.2. Geologia - Vulcanismo.....	22
2.2.1. Vulcanologia	22
2.2.2. Tipos de vulcanismo	22
2.2.3. Magma	24
2.2.4. Produtos da atividade vulcânica.....	30
2.2.5. Paisagens vulcânicas.....	33
2.2.6. Tipos de atividade vulcânica.....	37
2.2.7. Vulcanismo secundário ou residual.....	39
2.2.8. Distribuição global do vulcanismo.....	41
2.3. Biologia - Obtenção de matéria pelos seres autotróficos	46
2.3.1. Autotrofia e seres autotróficos	46
2.3.2. Fotossíntese	47
2.3.3. Fase fotoquímica	50
2.3.4. Fase química: Ciclo de Calvin.....	58
2.3.5. Adaptações a climas quentes e áridos	62
3. Metodologia	66
3.1. Caracterização da Escola Secundária D. Duarte	66
3.2. Caracterização das turmas lecionadas durante o estágio pedagógico.....	66
3.2.1. 10.º A.....	66
3.2.2. 10.º B.....	66
3.3. Seleção de temas e planificação.....	67
3.4. Estratégias e recursos.....	70

3.4.1. Pré-teste e pós-teste	70
3.4.2. Demonstração	80
3.4.3. Atividades práticas	80
3.4.4. Analogias	109
3.4.5. Tabelas síntese e mapas de conceitos.....	109
3.4.6. “V de Gowin”	115
3.4.7. TIC.....	118
3.4.8. Testes sumativos	125
3.5. Avaliação	125
3.6. Outras atividades	125
4. Resultados e conclusões	128
4.1. Geologia - 10.º A.....	128
4.1.1. Pré-teste e pós-teste	128
4.1.2. “V de Gowin”	130
4.1.3. Teste sumativo	131
4.1.4. Resultados qualitativos de outras atividades.....	131
4.2. Biologia - 10.º B.....	132
4.2.1. Pré-teste e pós-teste	132
4.2.2. Plickers	134
4.2.3. Tabelas síntese	135
4.2.4. “V de Gowin”	137
4.2.5. Teste sumativo	138
4.2.6. Resultados qualitativos de outras atividades.....	138
5. Considerações finais.....	140
6. Referências bibliográficas.....	141
7. Anexos	148
Anexo I – Planificação de Biologia e Geologia de 10.º ano, a médio prazo, relativamente ao 1.º Período.	148
Anexo II – Critérios de correção do “V de Gowin” da atividade prática laboratorial "Pontos quentes: Janelas para o interior da Terra".	150
Anexo III – Critérios de correção do “V de Gowin” da atividade prática laboratorial experimental “Fatores limitantes da fotossíntese - parte I”.	153
Anexo IV – Teste sumativo sobre o “Vulcanismo” e respetiva correção.	156

1. Introdução

No projeto *The Future of Education and Skills 2030*, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) defende que o futuro da educação passa por capacitar os alunos com as competências, atitudes e valores necessários à construção de um futuro baseado no bem-estar dos indivíduos, das comunidades e do planeta. Define “bem-estar” como algo mais do que acesso a riqueza, a emprego e a habitação, englobando também a qualidade de vida, o que inclui saúde, segurança, o ambiente e a educação (OCDE, 2018).

Esta visão para o futuro é indissociável do ensino da ciência. A própria ideia de garantir saúde, justiça e prosperidade assenta na literacia científica dos mais jovens, na sua capacidade de intervir de forma crítica e fazer uso do conhecimento científico nas suas vidas fora da sala de aula. Assim, a OCDE reconhece a importância do ensino de ciência para o futuro, não só a nível do conhecimento e das competências científicas, mas também da identidade científica, isto é, até que ponto a ciência assume um papel significativo nas vidas dos alunos (OCDE, 2020).

Os três documentos curriculares que regem a educação em Portugal - o Plano Curricular, o Perfil dos Alunos e as Aprendizagens Essenciais - advêm de políticas transnacionais criadas pelos organismos mundiais. No entanto, surgem algumas contradições. Se, por um lado, se pede às escolas e aos professores que se foquem numa avaliação e, conseqüentemente, em ensino-aprendizagem, formativos, por outro, a avaliação do desempenho destas mesmas escolas e destes mesmos professores privilegia os resultados em detrimento do processo (Pacheco & Maia, 2019). Esta dissonância não incentiva os professores a focarem-se no processo de aprendizagem dos alunos, porque este processo não se vai necessariamente traduzir apenas em “resultados” e eles mesmos não se podem dissociar dos resultados dos alunos. Levantam-se as questões de “Qual é o propósito da educação?” e “Qual é o papel do professor?”.

O Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória (PASEO), baseado nestas mesmas políticas educativas transnacionais, assume-se como centrado na pessoa e na dignidade humana como valores fundamentais, colocando as aprendizagens no centro do processo educativo e a inclusão como uma exigência (Martins et al., 2017; Pacheco & Maia, 2019). Isto sugere que o professor é mais do que um mero técnico executor, é um ser intelectual que toma decisões e, por esta razão, é insubstituível.

Neste sentido, o presente relatório de estágio tem como objetivos gerais: 1) contextualizar e aprofundar cientificamente os temas lecionados ao longo do estágio; 2) fundamentar a escolha de recursos e estratégias em que se basearam as aulas; 3) descrever como é que esses recursos e estratégias foram operacionalizados; e 4) analisar e refletir acerca da eficácia do seu uso no ensino-aprendizagem dos alunos e dos conteúdos lecionados.

O estágio pedagógico decorreu na Escola Secundária D. Duarte, em Coimbra, com a supervisão do orientador cooperante, Professor Paulo Magalhães, e dos orientadores científicos, Professora Doutora Isabel Maria de Oliveira Abrantes e Professor Doutor Pedro Callapez Tonicher.

A prática letiva supervisionada incidiu sobre o “Vulcanismo”, tema que se insere no domínio “Estrutura e Dinâmica da Geosfera”, de Geologia de 10.º ano, e sobre a “Obtenção de matéria pelos seres autotróficos”, pertencente ao domínio “Obtenção de matéria”, focado na Biologia de 10.º ano.

O relatório pedagógico apresenta três secções principais, respetivamente, o enquadramento teórico, pedagógico e científico, a metodologia utilizada e os resultados e conclusões.

2. Enquadramento teórico

2.1. Pedagogia

2.1.1. Teorias da aprendizagem

A Teoria Humanista enfatiza a importância dos processos cognitivos e afetivos na aprendizagem, assumindo que, para compreender uma pessoa, temos de estudar os seus comportamentos, pensamentos e sentimentos. Releva a capacidade de o ser humano tomar decisões e assumir controlo da sua vida, enquadrando-se no Construtivismo, quando aplicada à educação. A motivação é a força motriz por detrás da satisfação das necessidades básicas, mas a vivência humana vai muito para além da satisfação dessas necessidades (Schunk, 2012).

Maslow foi proponente da ideia de que o ser humano é motivado pela satisfação das suas necessidades e que estas não são todas iguais, pois existe uma hierarquia subjacente (Fig. 1). A satisfação das necessidades no topo da hierarquia só influencia o comportamento, se as necessidades na base tiverem sido satisfeitas primeiro. Na base da hierarquia das necessidades de Maslow, encontram-se as necessidades fisiológicas (alimento, ar e água), seguidas das de segurança (financeira, ambiental), de pertença (formação de relações interpessoais, amigos próximos) e de estima, que se manifesta através de bons resultados, independência e reconhecimento. Estas quatro necessidades são referidas como “de privação”, isto é, a sua carência motiva as pessoas a satisfazê-las. A necessidade de autorrealização, no topo, não é motivada por deficiência, mas sim por crescimento pessoal (Schunk, 2012).

Desta forma, não se pode esperar que os alunos se foquem nas deficiências académicas, sem que as suas necessidades básicas estejam garantidas. A hierarquia das necessidades pode ser um guia útil para os professores, ao permitir uma melhor compreensão de como suprir as necessidades de cada aluno (Schunk, 2012). A pedagogia diferenciada não é só na aprendizagem, pois tem de englobar também o bem-estar dos alunos, para que todos possam estar em pé de igualdade quando entram na sala de aula.



Figura 1 - Hierarquia das necessidades de Maslow. Adaptado de Schunk, 2012.

“O sistema educativo é, com toda a probabilidade, a instituição mais influente na formação de uma pessoa, mais de que a família, a igreja, a polícia e o governo.”¹

Esta frase deve-se a Carl Rogers, um psicólogo americano que partiu desta linha de pensamento para conceber um método que defende uma Educação Centrada na Pessoa (Person-centered Education, PCE), que tem estado na base do desenvolvimento de contextos educativos inovadores (Motschnig-Pitrik & Santos, 2006). A PCE é uma abordagem holística, validada cientificamente, com aplicações em várias áreas, incluindo a educação (Zucconi, 2016).

Rogers considerava que a forma como nos relacionamos com os outros é central para o nosso desenvolvimento pessoal (Sprinthall & Sprinthall, 1993). A educação não se pode cingir a ensinar, tem de educar. Não pode apenas estender o conhecimento dos alunos numa área, tem de proporcionar o seu desenvolvimento como pessoas. Neste sentido, a PCE afirma que, se a escola ambiciona cumprir o seu verdadeiro papel educativo, não pode ignorar o indivíduo, pois este é parte integral do processo de aprendizagem (Motschnig-Pitrik & Santos, 2006).

Segundo este modelo, o processo educativo deve encarar os alunos como um todo, tendo em conta todas as suas dimensões e o seu contexto. Uma educação tradicional, direcionada apenas para resultados académicos, não cumpre o referido anteriormente, ao não contemplar a formação de seres empáticos e respeitadores do outro. Estas lacunas foram reconhecidas no processo de Bolonha, na verbalização da necessidade de um novo currículo que, ao contrário do tradicional, valorizasse as atitudes acima das competências e do conhecimento, nesta ordem (Motschnig-Pitrik & Santos, 2006).

Na sua obra, *Freedom to Learn*, Rogers e Frieberg (2006) afirmam que a aprendizagem experiencial tem relevância para a pessoa como um todo, pois há um envolvimento pessoal, a nível cognitivo e sentimental; é iniciada pelo aluno e é pervasiva, pois afeta os seus comportamentos, atitudes e personalidade. Esta é, segundo os autores, uma aprendizagem significativa. O papel do professor deixa de ser o da imposição da aprendizagem para um de facilitador da aprendizagem, através do estabelecimento de um ambiente propício (Schunk, 2012). O ser humano quer atingir o seu potencial máximo, a autorrealização, e é responsabilidade do professor criar as condições que o promovam (Zucconi, 2016).

Rogers considerava, também, que apenas aprendemos aquilo que tem importância ou relevância para nós como pessoas e, como tal, via o ensino que se apresentava como uma transmissão de conhecimentos como frio, impessoal e ineficaz, por não possuir valor para os alunos. A mudança de paradigma exige do professor

¹ Tradução livre do Inglês do original “*The educational system is probably the most influential of all institutions outranking the family, the church, the police, and the government – in shaping the interpersonal politics of the growing person.*” (Motschnig-Pitrik & Santos, 2006, p. 6).

qualidades diferentes das que tinham sido valorizadas na profissão até aqui. Segundo o psicólogo, são necessárias três condições para que se possa promover a aprendizagem: empatia, aceitação incondicional positiva e genuinidade. A empatia permite que o professor demonstre que percebe as emoções dos alunos e faça uma leitura precisa dos seus sentimentos (Sprinthall & Sprinthall, 1993). A aceitação incondicional positiva contribui para que o aluno desenvolva um autoconceito positivo, garantindo que saiba que é valorizado independentemente dos seus resultados académicos, separando o seu valor enquanto pessoa do seu sucesso académico (Schunk, 2012). Esta aceitação requer que o professor aceite o aluno sem julgamentos e/ou imposição de condições. Por último, a empatia e aceitação têm de ser genuínas, não havendo lugar para fingimento. A interação humana e um ambiente de sala de aula acolhedor, em que os alunos se sentem valorizados, resultam numa aprendizagem positiva e real, contrariamente a um ambiente tenso, impessoal e crítico (Sprinthall & Sprinthall, 1993).

De acordo com Rogers, aquando da concretização destas três condições, as crianças são livres para aprender. Contudo, não basta que haja aceitação incondicional positiva e o ensino-aprendizagem não pode ser explicado apenas a partir das três condições rogerianas. Não obstante, estas são facilitadoras e necessárias ao que se segue no processo de aprendizagem (Sprinthall & Sprinthall, 1993).

Remetendo ao título da obra clássica de Carl Rogers, *Freedom to Learn*, só possui liberdade para aprender quem é livre, e só é livre quem se encontra em condições de aprender.

A aprendizagem está intimamente ligada à motivação e existe uma interação mútua entre as duas. Por um lado, a motivação de um aluno vai ter consequências na forma como este aprende; por outro lado, à medida que os alunos aprendem e desenvolvem competências e se percebem como capazes, ficam mais motivados para aprender (Schunk, 2012). A motivação consiste no estudo de porque é que os indivíduos agem de uma certa forma (Graham, 2020).

A Teoria da Atribuição assume que, após a realização de uma tarefa, o aluno procura informação que lhe possa fornecer uma explicação para os resultados obtidos (Schunk, 2012). Desta forma, uma atribuição é aquilo que uma pessoa percebe como a causa de um resultado, cognições que dão resposta a perguntas do tipo “Porquê?”, como “Porque é que tirei má nota no teste?” (Schunk, 2012; Graham, 2020). As atribuições são importantes porque influenciam as crenças, emoções e comportamentos. O processo de atribuir uma causa é guiado por regras que são objeto de estudo nesta área (Schunk, 2012). A Teoria da Atribuição foi criada por Fritz Heider, em 1958; contudo não existe “uma teoria” propriamente dita, mas sim várias abordagens cujo ponto comum é o estudo da percepção da causalidade. Optou-se por explorar a Teoria da Atribuição da Motivação como proposta por Bernard Weiner e colegas, dada a sua abrangência e aplicações práticas (Graham, 2020).

Weiner sugeriu que os alunos atribuem o seu sucesso/insucesso a quatro causas: as suas capacidades, o esforço, a dificuldade da tarefa e a sorte, e identificou três

dimensões causais, sendo estas o *locus* de causalidade, a estabilidade e a controlabilidade (Tab. I) (Schunk, 2012; Graham, 2020). Um aspeto central das teorias sociocognitivas da motivação é o facto das pessoas procurarem assumir controlo daquilo que é importante nas suas vidas (Schunk, 2012). A indagação por uma causa e as atribuições que resultam desta têm implicações relevantes para a posterior motivação (Graham, 2020). Para melhor compreender a Teoria da Atribuição é relevante falar do *locus* de controlo, um conceito introduzido por Julian Rotter e que reflete uma expectativa generalizada de que as nossas ações determinam, até certo ponto, um desfecho positivo ou negativo (Schunk, 2012; Graham, 2020).

As pessoas podem atribuir o desfecho de uma situação à forma como agem (*locus* de controlo interno) ou a fatores independentes das suas ações (*locus* de controlo externo). Esta atribuição pode ser constante independentemente da situação, ou pode variar com o contexto (Schunk, 2012). O *locus* de controlo possui importância em contextos educativos porque se pensa que as crenças de expectativa afetam o comportamento dos alunos. Alunos que acreditam que possuem controlo sobre o seu sucesso/insucesso (*locus* de controlo interno) acabam por revelar um maior esforço e persistência, quando comparados com alunos que acreditam não exercer qualquer controlo sobre os seus resultados (Schunk, 2012).

Na dimensão de estabilidade, as causas são apresentadas como constantes ou passíveis de sofrerem alteração ao longo do tempo. A terceira e última dimensão causal é a controlabilidade, isto é, se a causa pode ser influenciada volitivamente pelo aluno (Graham, 2020). Um foco nas dimensões causais auxilia na compreensão de como é que as capacidades de um aluno diferem do seu esforço. Neste caso, as capacidades do aluno e o seu esforço enquadram-se no *locus* de controlo interno, enquanto a dificuldade da tarefa e a sorte no *locus* externo. As capacidades do aluno são vistas como internas, estáveis e incontroláveis, mas o esforço, embora também interno, altera-se ao longo do tempo e é controlável (Graham, 2020).

Na prática, quando atribuímos o nosso insucesso a causas internas e estáveis, como a falta de capacidades, estamos a percecionar o insucesso como intrínseco a nós mesmos e sobre o qual não possuímos qualquer controlo, diminuindo as expectativas de sucesso e a autoestima (Bessa & Fontaine, 2002; Graham, 2020). Em contraste, se o insucesso for atribuído a causas instáveis ou externas, como a falta de esforço, esta é uma característica sobre a qual possuímos controlo e podemos modificar através das nossas ações (Graham, 2020). Adicionalmente, os alunos experienciam mais orgulho no seu sucesso quando o atribuem a causas internas, como as suas capacidades e o seu esforço (Schunk, 2012).

Em contexto educativo, a intervenção passa por fazer os alunos assumir a responsabilidade pelo insucesso e conduzi-los a atribuir o fracasso à falta de esforço (Bessa & Fontaine, 2002).

Tabela I - Atribuições causais de sucesso/insucesso em função do *locus* de causalidade e da estabilidade.
Adaptado de Bidarra, n.d.

Estabilidade \ Locus de causalidade	Estável	Instável
Causa externa	Dificuldade da tarefa	Sorte
Sucesso	“Era fácil”	“Tive sorte”
Insucesso	“Era difícil”	“Não tive sorte”
Causa interna	Capacidade	Esforço
Sucesso	“Sou inteligente”	“Esforcei-me muito”
Insucesso	“Não sou inteligente”	“Não me esforcei o suficiente”

A definição de objetivos e a avaliação do progresso relativamente a esses objetivos é importante para os mecanismos motivacionais. Por sua vez, a definição de objetivos funciona conjuntamente com as expectativas de resultados e com a autoeficácia. As pessoas agem de acordo com aquilo que acreditam que as aproxima de realizar os seus objetivos. Neste sentido, uma sensação de autoeficácia, a convicção de que se consegue fazer o necessário para atingir um objetivo com sucesso, é necessária para que os objetivos tenham alguma influência no comportamento da pessoa (Schunk, 2012).

A orientação por objetivos de realização é um constructo central à Teoria de Objetivos. Trata-se das razões que levam um indivíduo a envolver-se em atividades de realização, por exemplo em ambiente escolar, e de como é que diferentes tipos de objetivos influenciam o comportamento dos alunos. Aqui faz-se a distinção entre objetivos de realização centrados na aprendizagem e objetivos de realização centrados nos resultados (Bessa & Fontaine, 2002; Schunk, 2012). O elogio das capacidades ou inteligência de um indivíduo, leva a que este adote objetivos de realização centrados nos resultados e exiba padrões motivacionais debilitantes, quando confrontados com o insucesso. Se, por outro lado, o elogio se referir ao esforço e persistência, o indivíduo tende a adotar objetivos centrados na aprendizagem, que, em caso de fracasso, se manifestam em padrões motivacionais de persistência (Bessa & Fontaine, 2002).

2.1.2 Planificação de aulas e gestão da sala de aula

O ato de ensinar é, simultaneamente, um processo complexo, cognitivamente exigente e uma tarefa criativa (Strickroth, 2019). Uma aula necessita de ser planificada e preparada de forma pensada, para que atinja os objetivos de aprendizagem de forma eficaz, especialmente no que diz respeito a futuros professores, que beneficiam mais desta estruturação prévia, em etapas iniciais da sua atividade docente. Normalmente, as planificações incluem aspetos como as Aprendizagens Essenciais, os conceitos e demais conteúdos científicos, as estratégias a serem seguidas, os recursos disponibilizados e as características da turma, devendo não só refletir o ritmo da aula,

mas também o processo de tomada de decisão do professor (Strickroth, 2019). Desta forma, é possível estruturar a aula e antecipar problemas (Farrell, 2002). Este processo confere uma maior confiança e um maior controlo ao professor sobre a sua aula (Farrell, 2002; Strickroth, 2019).

A maioria dos professores planifica as suas aulas a vários níveis: anual, por período, por unidade e por aula. A planificação é algo pessoal de cada professor, alguns fazem planos detalhados enquanto outros planificam mentalmente. Seja qual for a situação, poucos professores entram numa sala de aula sem um plano. Os professores planificam as aulas por necessidades internas e externas. No primeiro caso, como já foi referido, a planificação confere-lhes mais confiança, melhor compreensão dos conteúdos e permite que a aula decorra dentro do planeado. Por outro lado, os professores planificam para suprir as expectativas da direção, da escola e da própria tutela, uma questão de *accountability* (Farrell, 2002).

A planificação obriga ao exercício de outra faceta muito importante do ensino, que é a reflexão. Na preparação da sua aula, o professor deve pensar nas acomodações necessárias em função dos diferentes níveis de conhecimentos prévios dos alunos e diferentes questões que podem surgir como consequência destes. O ato de planificar permite que o professor explore aspetos pedagógicos e reflita sobre a melhor forma de ensinar os conteúdos, tendo em conta a forma como estes são representados nos manuais e os objetivos estabelecidos pelo currículo (Shen et al., 2007).

2.1.3. Estratégias e recursos

2.1.3.1. *História da Ciência e Natureza da Ciência*

Amador (2010) refere que o conhecimento científico não pode ser dissociado do seu contexto histórico. No ensino das ciências, houve uma componente que ganhou importância com as reformas curriculares em Portugal, que foi a História da Ciência (HC) (Duarte, 2004). Reconheceu-se a sua relevância na promoção da cidadania e conhecimento das ciências como cultura (Cachapuz et al., 2002; Duarte, 2004).

A HC facilita a aprendizagem de conceitos/modelos/teorias, permite relacionar modelos representacionais com conceitos/modelos/teorias científicas e, devido ao seu carácter universal, alguns episódios históricos devem ser do conhecimento de todos os alunos (Amador, 2010). Segundo Cachapuz et al. (2002), quando bem aplicada, a HC é capaz de contribuir para a humanização da Ciência, promovendo um espírito de abertura e diálogo. Mais especificamente, a História da Geologia “ao contribuir para a compreensão da evolução do conhecimento geológico, é um instrumento capaz de favorecer processos reflexivos que visem o reconhecimento do sentido das mudanças que se registaram ao longo do tempo” (Amador, 2010, p. 25).

A análise de episódios históricos que coloquem em evidência o contexto em que se produz ciência torna o seu estudo menos abstrato. A HC desmistifica visões mais dogmáticas de Ciência e é necessária à compreensão da Natureza da Ciência (NdC)

(Amador, 2010). A NdC refere-se à epistemologia e sociologia da Ciência, assim como aos valores e crenças inerentes ao conhecimento científico e ao seu desenvolvimento (Lederman et al., 2002). Estes autores ressaltam a importância de os alunos entenderem o conhecimento científico como algo provisório, que se altera com o surgimento de novos dados ou novas interpretações de dados já disponíveis, e que não é absoluto, apenas representando a melhor explicação que existe para um dado processo ou acontecimento naquele momento. Devem, também, compreender que a Ciência se baseia, ainda que parcialmente, em observações do mundo natural, e que estas diferem de inferências, pelo facto dos cientistas terem acesso direto a uma base operacional concreta. Não obstante, como estas observações são realizadas pelo ser humano, que não é objetivo, também elas congregam um certo grau de subjetividade. As nossas crenças, conhecimentos prévios, sistema de valores, experiências e expectativas influenciam os problemas que se investigam e como se investigam, o que se observa e como se interpretam essas observações. Adicionalmente, como indivíduos inseridos numa sociedade, somos produtos da sua cultura, o que também permeia a forma de fazer ciência. Por fim, a construção do conhecimento científico, criação de explicações e entidades teóricas, exige imaginação, criatividade e honestidade (Lederman et al., 2002; Schwartz et al., 2004).

2.1.3.2. *Demonstrações*

As demonstrações em sala de aula são vistas como uma forma de ajudar os alunos a aprender ciência e estimular o seu interesse. Contudo, é necessário que estas sejam realizadas de forma adequada, dado que alunos que apenas observem passivamente, não demonstrarão uma melhor compreensão dos conceitos e processos, do que alunos que não tenham assistido à demonstração (Crouch et al., 2004). No entanto, quando se lhes pede que façam previsões relativamente ao resultado da demonstração, estes revelam em geral um melhor entendimento, devido ao seu maior envolvimento (Crouch et al., 2004; Brod, 2021).

Experiências vicariantes são definidas por Johnson e Burns (2023) como aquelas em que os alunos são capazes de aprender e adquirir conhecimento acerca de uma tarefa, através da observação de um modelo. Segundo os autores, estas experiências apoiam a aprendizagem e o funcionamento adaptativo dos alunos, ao lhes fornecer um exemplo de desempenho de uma tarefa e comportamento adequado, apresentando-se como uma alternativa eficaz à execução da tarefa por esses alunos. Estas podem manifestar-se de várias formas, tais como um exemplo de um exercício resolvido, ou uma demonstração de uma experiência. As demonstrações levadas a cabo pelos pares também integram este tipo de experiência, por mostrarem como é que a tarefa pode ser realizada. Estas podem ser divididas em *mastery models* ou *coping models*, os primeiros, designando um exemplo de demonstração sem erros, e os segundos, uma demonstração em que o aluno comete erros e revela, gradualmente, ser capaz de a

realizar. O *coping model* demonstrou ser mais eficaz para autoeficácia e desempenho dos alunos, por estes se reverem no desempenho do colega. É importante escolher um aluno que esteja à vontade para cometer erros à frente dos colegas (Johnson & Burns, 2023).

2.1.3.3. Atividades práticas

O trabalho prático é definido por Leite e Dourado (2013) como aquele que requer um envolvimento ativo do aluno a nível cognitivo. Segundo Leite (2000), existem diferentes tipos de atividades práticas (AP), nas quais se englobam o trabalho de campo e o trabalho laboratorial, existindo AP que não se enquadram em nenhuma destas tipologias, como é o caso das atividades de lápis e papel, de pesquisa, de simulação digital e de manipulação de amostras de mão (Fig. 2). Neste último caso, a exposição dos alunos a amostras de rochas e minerais, através da sua descrição, identificação e classificação, é integral ao ensino de Geociências (Andrews et al., 2020).

As atividades laboratoriais (AL) podem ser realizadas num laboratório ou em ambiente de sala de aula, desde que se garantam as condições necessárias, mas requerem o uso de material laboratorial, mais ou menos convencional. Por sua vez, as atividades de campo são realizadas ao ar livre (Leite, 2000), ou, mais excepcionalmente, no interior de explorações mineiras. No caso de o trabalho prático envolver manipulação de variáveis, denomina-se de trabalho experimental (E) (Leite, 2000). Existe, ainda, um trabalho prático que não é apoiado por um procedimento, no qual os alunos é que decidem como resolver um dado problema. Este tipo de atividade é uma investigação (I) e, tal como as atividades experimentais, pode ser laboratorial, não experimental (LI nE) ou experimental (LEI), de campo, não experimental (CI nE) ou experimental (CEI), investigações experimentais, que não são nem laboratoriais nem de campo (EI nLnC), ou nenhuma destas opções (Fig. 2) (Leite & Dourado, 2013).

As AL que predominam nos manuais e nas escolas portuguesas possuem um baixo nível de abertura e protocolos de tipo receita, que conduzem ao único resultado possível (Leite, 2000; Leite & Dourado, 2013). Neste ambiente de aprendizagem, os alunos focam-se em obter o resultado “correto”, em vez de pensar no que estão a fazer e porque o estão a fazer, sendo isto uma consequência negativa da importância atribuída ao resultado, em detrimento do processo que a ele conduziu (Leite, 2000).

Apesar do consenso acerca da necessidade de utilização de AL no ensino de ciências, não existe um consenso no porquê (Leite, 2006). Um dos argumentos é o de que a ciência é prática (Leite & Dourado, 2013). Consequentemente, a atenção está normalmente focada na parte de “fazer”, mas o trabalho prático não se cinge a “fazer”; também é necessário pensar sobre o que se faz (Dourado et al., 2017). Pretende-se que os alunos não recordem apenas as observações, mas também a explicação dessas observações (Leite, 2006).

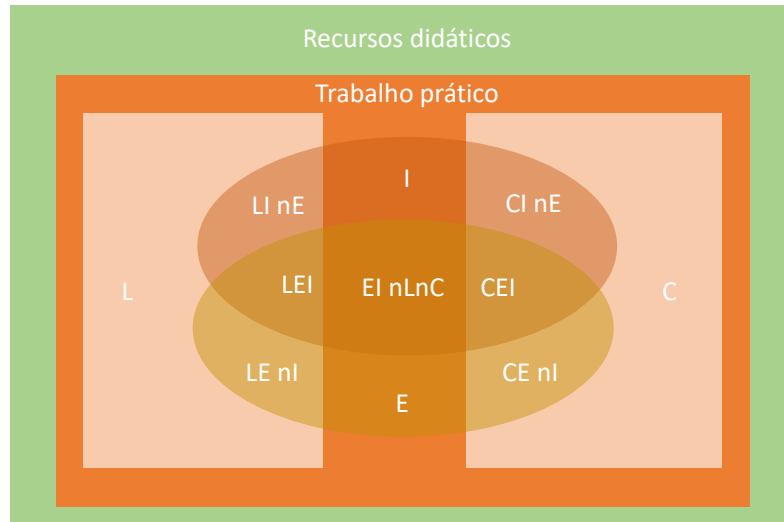


Figura 2 – Relação entre trabalho prático, laboratorial (L), de campo (C), experimental (E) e de investigação (I). Trabalho laboratorial experimental investigativo (LEI), laboratorial investigativo não experimental (LI nE), laboratorial experimental não investigativo (LE nI), de campo experimental investigativo (CEI), de campo investigativo não experimental (CI nE), de campo experimental não investigativo (CE nI), experimental investigativo não laboratorial ou de campo (EI nLnC). Adaptado de Leite & Dourado, 2013.

2.1.3.4. Modelos e analogias

Os professores têm vindo a utilizar, de forma eficaz, representações externas no ensino-aprendizagem, incluindo analogias, metáforas e modelos (Tsui & Treagust, 2013).

Os modelos são definidos por Chamizo (2013) como sendo representações, normalmente baseadas em analogias, que contextualizam uma parte do mundo com um objetivo específico. A intencionalidade faz parte do modelo. Embora não exista consenso na definição do que é um modelo, as definições aparentam concordar que se trata de uma representação, sendo que a parte do mundo a ser representada é o alvo. Os modelos não precisam de representar todas as características do alvo: um modelo é representativo do alvo porque é destinado a esse mesmo alvo, não porque é semelhante o suficiente. O sujeito que constrói o modelo tem uma intenção que o leva a selecionar algumas similaridades em detrimento de outras, criando uma assimetria entre o modelo e a realidade, que é característica de cada indivíduo e da sua intenção (Giere, 2010). Desta forma, um modelo é semelhante ao mundo apenas no grau necessário ao propósito a que se propõe, pois senão seria apenas uma cópia deste (Oh & Oh, 2011).

As representações são ideias, mas podem configurar objetos físicos, processos ou sistemas. As representações só por si não possuem significado e provêm de alguém que as identifica como tal (Chamizo, 2013). Um objetivo específico confere um propósito ao modelo, de descrever, explicar, comunicar ou prever acontecimentos ou processos naturais ou, no caso das Geociências, de retroprevisão (Oh & Oh, 2011; Chamizo, 2013).

Por sua vez, a analogia é o conjunto de características ou propriedades que o modelo partilha com o mundo real (Chamizo, 2013).

Oh e Oh (2011) relatam que existem evidências científicas de várias áreas disciplinares, nomeadamente Biologia e Ciências da Terra, que demonstram que o uso de modelos potencia as simulações mentais e, quando utilizados corretamente, promovem uma aprendizagem eficaz.

O poder explicativo dos modelos advém do uso de analogias e os próprios modelos mentais são frequentemente construídos a partir de analogias (Oh & Oh, 2011; Lancor 2012). O uso de analogias como uma ferramenta de ensino é uma prática muito comum na educação e constitui uma parte relevante do conhecimento pedagógico do professor (Lancor, 2012).

Aubusson et al. (2006) distinguem analogia de metáfora explicando que numa metáfora, A é B, enquanto numa analogia, A é como B, ou seja, partilha algumas características, mas não todas. De acordo com estes autores, as analogias são atrativas porque explicam ideias abstratas de uma forma simples, em termos que são familiares aos alunos. Neste sentido, é aconselhável recorrer a uma representação familiar que possa sustentar a interpretação do aluno, de uma situação que lhe é menos familiar e, por isso, mais abstrata e difícil de compreender (Tsui & Treagust, 2013). Uma analogia é definida como o processo de identificar as semelhanças e diferenças entre conceitos diferentes (Lancor, 2012).

O valor da analogia não reside no grau de correspondência, mas sim na resposta que vai gerar no aluno, mais especificamente, na qualidade do seu pensamento e discurso (Aubusson et al., 2006). As analogias permitem que os alunos assimilem a nova informação, especialmente conceitos abstratos, com os seus conhecimentos prévios. Os alunos podem visualizar esses conceitos abstratos, ao compararem o seu mundo real com os novos conceitos em processo de aprendizagem. Como as analogias partem de algo que faz parte da vivência dos alunos, estas possuem um carácter motivacional (Aubusson et al., 2009).

Nem sempre as analogias produzem os resultados esperados, dado que, quando não são aplicadas de forma adequada, podem ter consequências indesejadas. É o caso de quando o análogo não é familiar ao aluno, impedindo o desenvolvimento da compreensão do conceito que se está a tentar ensinar, de quando os alunos não conseguem distinguir a analogia do conteúdo que estão a aprender e de quando apenas relembram a analogia e não o conteúdo. De forma a evitar estes erros, o professor deve auxiliar os alunos a fazer mapeamento das características do análogo, em relação ao conceito que estão a aprender (Aubusson et al., 2009).

2.1.3.5. *Tabelas síntese e mapas de conceitos*

Os alunos precisam de formas de sintetizar e organizar a informação e conceitos que aprendem nas aulas, para os compreenderem e identificarem ligações entre si (Wray et al., 2020). Isto pode ser feito através de tabelas síntese ou de mapas de conceitos. A este respeito, Wray et al. (2022) afirmam que as tabelas síntese ajudam os alunos a compreender e fazer sentido do que aprendem nas aulas.

A aprendizagem que mais frequentemente se encontra nas escolas é a aprendizagem mecânica, caracterizada pela memorização de conceitos que podem ser reproduzidos a curto prazo para testes, mas que são facilmente esquecidos, por não possuírem significado para o aluno (Moreira, 2012a). Ausubel introduziu o conceito de aprendizagem significativa. Este tipo de aprendizagem dá-se quando uma nova informação adquire significado para o aluno, por interação com os seus conhecimentos prévios. A nova informação é ancorada na estrutura cognitiva preexistente do aluno. Os conhecimentos já detidos pelos alunos, que auxiliam nesta ancoragem do novo conhecimento, denominam-se subsunçores. À medida que esses subsunçores permitem que a nova informação adquira significado, eles próprios também se alteram e adquirem novos significados, ficando mais diferenciados e estáveis. Por conseguinte, a estrutura cognitiva é dinâmica e sofre reestruturação ao longo da aprendizagem (Moreira, 2012b).

Os mapas de conceitos revelam ser um instrumento de ensino importante, ao promoverem e facilitarem a aprendizagem significativa (Moreira, 2012b). Estes consistem em diagramas hierárquicos que demonstram as relações entre diferentes conceitos e refletem a organização de um corpo de conhecimento, ou parte dele. A sua construção deve partir do geral, no topo do mapa, para o particular, na base do mapa, onde também se podem adicionar exemplos (Fig. 3). A hierarquia vertical, de cima para baixo, evidencia a subordinação entre os conceitos, em que conceitos que englobam outros se encontram no topo, e conceitos que integram outros se encontram na base. Por esta razão, conceitos com um mesmo nível de generalidade e exclusividade devem aparecer na mesma posição vertical (Moreira, 2006).

As linhas que unem os conceitos revelam uma relação entre estes, cuja direção pode ser ilustrada por setas e cuja natureza pode ser explicada pela presença de uma palavra-chave (Moreira, 2012b).

Os mapas de conceitos não se restringem ao ensino-aprendizagem, pois podem também ser uma importante ferramenta na planificação dos conteúdos a ensinar. No caso do uso destes por alunos, é necessário um acompanhamento por parte do professor. Idealmente, os mapas devem ser empregues como forma de integrar e consolidar relações entre conceitos, a fim de promover a diferenciação conceitual. Isto implica que os alunos já estejam familiarizados com o tema, para que possam explorar relações entre conceitos e evidenciar semelhanças e diferenças entre estes, e reconciliar inconsistências reais ou aparentes (Moreira, 2006).

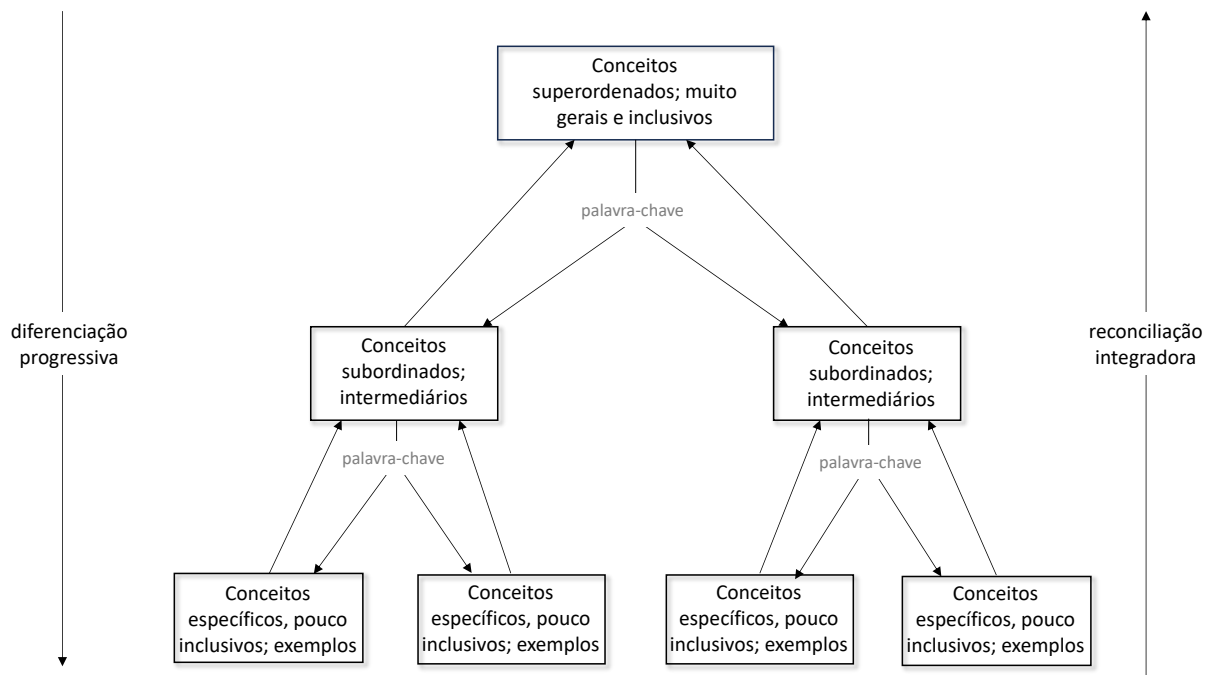


Figura 3 – Exemplo de um modelo de um mapa de conceitos com linhas a demonstrar a relação entre conceitos, cuja direção e natureza é ilustrada por setas e palavras-chave, respectivamente. Adaptado de Moreira, 2006 e Moreira, 2012a.

2.1.3.6. “V” epistemológico de Gowin

Para que a aprendizagem deliberada possa ocorrer, o significado tem de ser apreendido previamente.

O V epistemológico de Gowin, ou mais abreviadamente “V de Gowin”, foi desenvolvido nos anos de 1970 e 1980 por David Bob Gowin, com o objetivo de auxiliar na aprendizagem significativa das relações entre eventos, processos ou objetos (Gowin & Alvarez, 2005; Mintzes & Novak, 2005). Permite observar a interação entre o que conhecemos e o que precisamos de saber ou compreender (Gowin & Alvarez, 2005).

Porém, para utilizar este instrumento é necessário compreender o que significa “compreender”. A “compreensão” é o produto de uma reestruturação conceptual motivada pela necessidade de dar significado aos objetos e eventos do mundo real. Os cientistas e os alunos de ciências ambicionam resolver as inconsistências no seu raciocínio, para que o quadro explicativo resultante seja mais simples do que as ideias originais. Isto não significa que as explicações científicas não são complexas, mas que são económicas. Na tentativa de compreender e explicar o mundo natural, os cientistas procuram a simplicidade (Mintzes & Novak, 2005).

A construção de conhecimento em Ciências Naturais envolve a interação entre o conceptual e o metodológico, o “pensar” e o “fazer” (Mintzes & Novak, 2005). O diagrama tem a forma de “V”, colocando a questão-problema no centro, a ala conceptual à esquerda, os acontecimentos/objetos em baixo e a ala metodológica à direita (Fig. 4). A posição central da questão-problema no diagrama evidencia a “ponte” que faz entre a componente conceptual e a componente metodológica e guia o aluno

para a compreensão do acontecimento/objeto (Soares et al., 2017). Permite que os alunos compreendam a ligação entre o que já conhecem e os novos conhecimentos que estão a adquirir (Novak & Gowin, 1984). Os resultados, só por si, não possuem significado; embora o significado provenha, em última instância, dos acontecimentos/objetos, é necessário um enquadramento teórico para que estes possuam significado (Novak & Gowin, 1984).

Sendo assim, o diagrama constitui uma estratégia para ajudar os alunos a compreender como é que o conhecimento é construído e, mais concretamente, a “desempacotarem”, analisarem e avaliarem, de forma crítica, o conhecimento numa determinada área (Novak & Gowin, 1984; Mintzes & Novak, 2005).

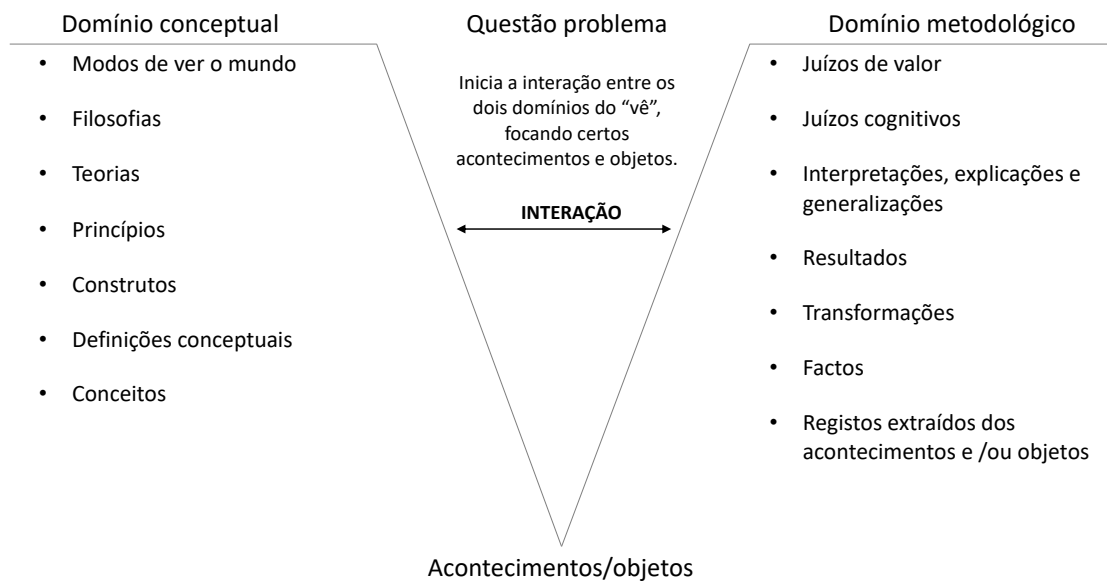


Figura 4 - Versão expandida do “V de Gowin”, com enumeração dos elementos que podem integrar cada um dos domínios e ilustração da interação entre os domínios conceptual e metodológico. Adaptado de Novak & Gowin, 1984.

2.1.3.7. Tecnologias de informação e comunicação (TIC)

A pandemia criou a maior disrupção dos sistemas educativos de sempre, estimando-se que 94% dos alunos a nível mundial tenham sido afetados pelo fecho dos estabelecimentos de ensino. Isto causou uma aceleração da transição do ensino tradicional presencial para os ambientes virtuais e *online*, e, conseqüentemente, algumas das plataformas revelaram-se úteis em termos de comunicação e colaboração (e.g. Google Classroom e Zoom). Contudo, evidenciou também a falta de competências digitais dos professores, que se depararam com uma situação para a qual não estavam preparados (Pokhrel & Chhetri, 2021). Identificou-se, assim, a necessidade dos alunos e dos professores atingirem um nível adequado de competências digitais (Perifanou et al., 2021).

Segundo os mesmos autores, embora mais de 60 milhões de professores se tenham visto obrigados a recorrer ao ensino à distância, mais de 60% dos professores na União Europeia não se sentiram preparados para utilizar tecnologias digitais para lecionar.

As tecnologias digitais promovem a transformação e enriquecimento da Pedagogia. O seu uso adequado e relevante para o ensino *online* ou digital, depende da proficiência e exposição dos alunos e dos professores às diferentes TIC (Loureiro et al., 2021).

2.1.3.7.1. Simulações digitais

Uma simulação é definida como a representação de certas características do comportamento de um sistema físico ou abstrato, como um evento, situação ou processo que pode, ou não, existir. No caso das simulações digitais, estas são programas que modelam um sistema ou processo, natural ou artificial (Gibson & Baek, 2009).

As simulações digitais são formas eficazes de aprendizagem experiencial, descritas por Gibson e Baek (2009), como envolvendo experiências concretas, observação e reflexão, a formação de conceitos abstratos e testagem de novas situações. O “fazer” é uma parte essencial da aprendizagem e as simulações digitais são intrinsecamente interativas (Gibson & Baek, 2009).

Existem vários benefícios educacionais das simulações digitais, cognitivos e pedagógicos, especialmente quando são combinadas com o ensino tradicional transmissivo e a discussão. Permitem uma aprendizagem *hands-on* sem os custos e riscos dos seus equivalentes reais. O professor pode, assim, colocar os alunos em situações autênticas que permitem uma melhor aprendizagem através da manipulação e observação de objetos e processos, e promovem competências de elevado nível cognitivo, como a tomada de decisões e resolução de problemas. Alunos que têm mais facilidade em aprender de forma visual conseguem, “ver” um processo, em vez de ouvir uma explicação de como funciona (Gibson & Baek, 2009).

Em suma, as simulações digitais são ambientes virtuais que permitem a experimentação, a avaliação de competências de resolução de problemas e a interação social. O uso de simulações é recomendado quando o objetivo de aprendizagem é explorar a relação entre variáveis e o seu impacto num sistema (Gibson & Baek, 2009).

2.1.3.7.2. Plickers

Os sistemas de resposta dos alunos (“student response systems”, SRS) são ferramentas que têm sido implementadas no ensino e que revelam melhores resultados de aprendizagem quando comparados com métodos mais tradicionais. Atualmente,

existem várias aplicações que permitem a participação ativa dos alunos nas aulas, como o *Kahoot* e o *Socrative* (Chou, 2022).

O *Plickers* é uma aplicação SRS relativamente recente, que se diferencia das restantes por não exigir que os alunos possuam um *smartphone* ou qualquer outro tipo de tecnologia, o que possibilita a sua adoção em qualquer contexto socio-académico, independentemente das condições financeiras familiares dos alunos (Chou, 2022).

No lugar de um *smartphone*, os alunos possuem um cartão, com um código QR-*Quick Response* (Fig. 5), que está associado na plataforma ao seu nome. O cartão pode ser utilizado em quatro posições, que refletem quatro opções de resposta (A, B, C e D) às questões do *quiz* que o professor vai projetando através do *website* (<https://www.plickers.com>). As respostas são registadas pelo professor através de um dispositivo móvel que, através da câmara, lê os códigos dos alunos, na aplicação. A percentagem de respostas a cada opção pode ser mostrada aos alunos, de forma anónima ou revelando a resposta individual de cada um (Chou, 2022).

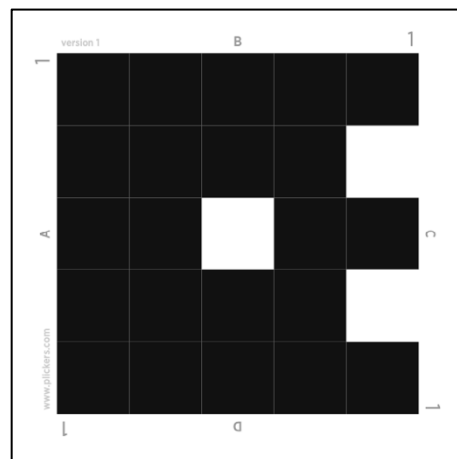


Figura 5 - Exemplo de um cartão Plickers, com um código QR, número identificativo do cartão e letras para as possíveis respostas. Retirado de Plickers, n.d.

Em termos de aprendizagem, o *Plickers* permite uma avaliação formativa em tempo-real dos conhecimentos dos alunos sobre um dado tópico ou unidade (Chou, 2022), ficando os resultados registados e acessíveis ao professor para posterior análise. Este pode, por exemplo, avaliar a compreensão e identificar falhas no conhecimento, ou usar as respostas como um ponto de partida para uma discussão sobre o tópico (Mshayisa, 2020) e possível mudança conceptual. Também contribui para perceções e atitudes mais positivas dos alunos relativamente à aprendizagem e um melhor desempenho académico (Chou, 2022).

2.1.3.7.3. PowerPoint

Atualmente, o uso de apresentações multimédia é praticamente ubíquo na sala de aula, sendo que o *software* mais utilizado pelos professores é o *PowerPoint* (Bolkan, 2019). Aliás, a sua prevalência nas salas de aula suscitou quase duas décadas de investigação relativamente ao seu impacto na aprendizagem cognitiva dos alunos (Baker et al., 2018).

Este *software* já não se resume a simples *slides* e animações básicas. Desde a sua inepção, o *PowerPoint* tem vindo a sofrer grandes alterações (Baker et al., 2018) e, com isso, a criar novas oportunidades para o seu uso na educação. Presentemente, é possível adicionar vídeos, transições e modelos 3D. Vários estudos revelam que os alunos preferem o uso destas apresentações multimédia, ao tradicional quadro preto,

mencionando a organização e a manutenção da atenção e interesse como as principais razões. No entanto, os alunos também partilham que esta modalidade de ensino não incentiva a discussão e encoraja os professores a ler os diapositivos (Baker et al., 2018).

Apesar dos benefícios relatados pelos alunos, isto não se traduz necessariamente em resultados, e não existem estudos que demonstrem uma diferença significativa nas aulas com ou sem uso do *PowerPoint*, ou nos resultados de aprendizagem. Bolkan (2019) refere que a eficácia do *PowerPoint* não está relacionada com o seu uso, de um modo geral, mas sim com a forma como é utilizado para ensinar e como esta afeta o processamento de informação dos alunos num contexto de aprendizagem. Ou seja, não é sobre o *software*, mas sim a sua utilização.

O uso de apresentações multimédia na sala de aula combina a transmissão de informação visual e auditiva, o que se pode revelar um problema se causar uma sobrecarga de informação para o aluno. Com efeito, uma das vantagens do uso de material multimédia é a de poder segmentar a informação e facilitar a sua aprendizagem. O recurso a animações e transições permite ao professor decidir o que alunos veem e quando o veem, permitindo que processem várias partes da informação antes de avançar. Adicionalmente, também sinaliza aos alunos em que parte da informação se devem focar num dado momento, o que os ajuda a guiar a sua modelação cognitiva (Bolkan, 2019).

Em contextos de aprendizagem multimédia, a compreensão dá-se por interligação da informação visual e auditiva (Bolkan, 2019) e o professor deve definir um objetivo para uma apresentação, quer seja como suporte visual dos conceitos, ou como um ponto de partida para explorar um esquema, e planificar a sua aula de acordo com estes objetivos.

2.1.3.7.4. *Google Classroom e Google Docs*

O *Google Classroom* (GC) é uma das plataformas *online* de gestão em educação mais populares mundialmente. Parte integrante do *Google Workspace for Education Fundamentals*, o GC fornece um ambiente virtual onde os professores podem criar e partilhar materiais nos mais diversos formatos, atribuir e gerir tarefas, avaliar e dar *feedback* aos alunos. Qualquer pessoa com uma conta da *Google* pode criar salas de aula virtuais ou juntar-se a uma (Shak et al., 2021).

Adicionalmente, o seu potencial aumenta quando se considera a sua integração com outras aplicações da *Google*, como é o caso do *Google Docs* (GD), que pode ser utilizado para criar fichas de trabalho que são facultadas aos alunos, e as quais estes podem submeter depois de preenchidas sem terem de abandonar o GC. Os materiais necessários à realização de tarefas também podem ser partilhados por *links*, documentos e imagens na própria plataforma (Shak et al., 2021). As tarefas podem ser agendadas previamente.

A sua popularidade é explicada pela facilidade de uso, baixo custo e flexibilidade, podendo ser acedida pela aplicação nos *smartphones* e *tablets*, ou ainda, através do *website* em qualquer dispositivo com acesso à *internet* (Shak et al., 2021). Para muitos professores o GC contribui para uma melhor interação com os alunos e facilita o trabalho em grupo.

Em contrapartida, os professores têm receios no que diz respeito à sua experiência e proficiência digitais. Isto vai-se refletir no seu nível de conhecimento e confiança em usar a plataforma e vai afetar a forma como a abordam, podendo o seu uso ficar aquém das possibilidades. Em função disto, os professores podem sentir dificuldades em criar materiais digitais pensados para o GD e o GC, ou falta de tempo para os desenvolver (Shak et al., 2021).

2.1.3.7.5. *iDoceo*

O *iDoceo* (Fig. 6) é uma aplicação para professores, que funciona como uma caderneta do professor digital. Este pode ser utilizado no computador, *smartphone* e *tablet*, sendo este último o mais conveniente para uso em sala de aula.

O professor pode criar a disposição dos alunos nas salas de aula, uma diferente para cada ambiente de ensino, como, por exemplo, sala de aula ou laboratório, ou utilizar o plano de sala de aula para criar grupos de trabalho para uma atividade.

A aplicação permite o registo intuitivo das observações e anotações em sala de aula, como assiduidade e participação, através de ícones, números ou palavras que podem ser pré-definidos para um uso em específico, como, por exemplo, um visto para marcar presença, um x para marcar ausência e uma ampulheta para marcar um atraso. Também permite o registo de pontuações de tarefas, que, no caso de terem sido realizadas em grupo, podem ser agrupadas como tal, gerando médias individuais e de grupo. O registo da informação pode ser feito através do “livro de notas” ou do “plano de aula”, em que o professor pode selecionar um aluno e fazer o registo imediato e visual. Esta informação pode ser consultada em conjunto pelo professor, ao selecionar um aluno.

		Attendance		Tests		Project 1		Project 2		Homework			Average
		Test 1	Test 2	Test 3	Project 1	Project 2	Homework 1	Homework 2	Homework 3	Homework 4	Homework 5	Homework 6	
1	Felipe G. Sales	E	70	55	45	B+	B	74	80	70	66	75	70
2	Cathy C. Mahon	E	66	56	65	C+	B+	72	67	67	63	69	66
3	Anthony S. McKinney	C	55	68	53	C+	B+	66	68	57	78	57	57
4	Edward M. Tolney	A	99	78	70	C+	A	81	80	88	65	88	82
5	Myrtle T. Cortes	E	69	60	77	B+	A	66	70	65	66	65	66
6	Raymond M. Dennis	B	88	92	72	B	B	66	70	66	63	66	66
7	Arthur K. Nickal	D	68	50	78	C	A+	67	70	67	66	67	67
8	Douglas E. Utsey	D	69	50	77	C	B	65	70	64	66	64	70
9	Renee D. Adams	C	86	63	75	C	B	57	64	45	66	65	67
10	William R. Gordin	C	66	77	76	C	C+	63	70	63	60	63	69
11	Ross C. Dinnaggio	D	58	66	77	B+	C	65	70	66	57	66	70
12	John L. Fair	D	55	78	74	C	C	69	70	72	63	72	69
13	Jerry A. Pizzall	E	79	45	73	C	B	56	59	53	64	53	60
14	Tammy D. Hall	E	52	55	51	C	B	64	70	66	55	66	62
15	Sam C. Jackson	E	45	45	77	B+	B	72	78	75	58	75	68
16	Rebecca D. Kemp	E	35	45	69	B	B	71	76	74	58	74	57
17	Wendy J. Lopez	F	52	64	70	C	B	64	70	65	55	65	63

Figura 6 - Livro de notas da aplicação *iDoceo*.

No planificador pode ver o seu horário e registar o sumário de cada aula. Na função *iDoceo Connect*, é possível criar questionários e rubricas que podem ser fornecidos aos alunos através de um *link* e de um PIN específico da tarefa. Relativamente às rubricas, estas podem ser construídas definindo critérios e níveis de desempenho e atribuindo um peso a cada critério. Ao avaliar um aluno, o professor escolhe o nível de desempenho que este teve em cada critério e a aplicação gera

automaticamente uma nota. Esta nota pode ser convertida automaticamente para a escala desejada pelo professor, por exemplo de 0 a 20.

Na aplicação também é possível definir competências-chave, as quais podem ser associadas a tarefas e cujo estado pode ser acompanhado num gráfico que é gerado e reflete a nota do aluno numa dada competência, tendo em conta as suas classificações em tarefas que contemplavam o desenvolvimento da competência. O estado da competência pode ser representado de forma visual, por cores, ou de forma numérica.

Para tarefas com várias componentes, podem gerar-se gráficos teia de aranha que refletem o desempenho dos alunos nas várias áreas. Estes gráficos podem ser gerados a nível da turma, do grupo ou do aluno.

2.1.4. Avaliação

A avaliação pedagógica engloba diversos conceitos e perspetivas que têm sido objeto de estudo ao longo das últimas décadas e que estão associados à emergência e desenvolvimento de novas ideias sobre a aprendizagem, o ensino e a avaliação. Esta tem como objetivo estabelecer as condições para que todos os alunos possam aprender o previsto no currículo nacional. Entende-se avaliação pedagógica como a que é da responsabilidade dos docentes e das escolas - a avaliação interna. Quando se fala em avaliação interna está-se a referir à Avaliação para as Aprendizagens ou Avaliação Formativa (AF) e à Avaliação das aprendizagens ou Avaliação Sumativa (AS) (Fernandes, 2021b).

Ambas as abordagens devem contribuir para apoiar a aprendizagem e o ensino, numa integração ensino-aprendizagem-avaliação, através da diversificação de tarefas, que permitam ensinar, aprender e avaliar, e das formas de recolha de informação (Fernandes, 2021b).

A AF consiste na recolha de informação sobre o processo de aprendizagem do aluno por parte do professor e conseqüente *feedback* ao aluno. Este *feedback* deve tornar claro ao aluno o ponto de situação da sua aprendizagem, o que tem de aprender e os esforços a despender para alcançar os objetivos de aprendizagem. Não requer nenhum aparato pedagógico especial nem condições específicas, é uma avaliação de proximidade, do dia a dia, utilizada em situações imprevisíveis. A AF não se destina a atribuir uma classificação aos alunos, mas sim permitir que autorregulem as suas aprendizagens e que o professor regule o ensino (Fernandes, 2021b). A avaliação diagnóstica é uma forma de avaliação formativa.

Em contraste, a AS recolhe informação de forma sistemática e deliberada em função dos objetivos de aprendizagem, produzindo resultados que são canalizados para a atribuição de classificações (Fernandes, 2021b). Esta decorre após o ensino e a aprendizagem, como forma de verificar que estes ocorreram, e não durante. A informação registada acerca do que foi aprendido pelos alunos é tornada pública e

sustenta a tomada de decisões relativamente à progressão académica dos mesmos e/ou a certificação no final de um ciclo de estudos (Fernandes, 2021a).

A AF e a AS têm naturezas, objetivos e inserções pedagógicas distintas, mas são processos complementares. Os dois tipos de avaliação não se distinguem pelos instrumentos de avaliação, pois a sua diferença reside na utilização dos resultados obtidos (Fernandes, 2021a).

Por fim, é, também, relevante referir um outro tipo de avaliação, designada por autoavaliação (AA). É difícil encontrar uma definição clara de AA, e as definições que existem não convergem numa ideia única. Não obstante, a literatura afirma que a AA é uma atividade reflexiva, da responsabilidade dos alunos, na qual identificam os pontos fortes e fracos do seu desempenho e tomam decisões sobre como melhorar. Para além disto, a AA tem de ser de carácter contínuo e formativo, pois se os alunos não tiverem oportunidade de melhorar, ajustar e recuperar as suas aprendizagens, o processo é desprovido de qualquer sentido e consequências práticas. Existem evidências empíricas que demonstram que a AA resulta numa melhoria qualitativa e quantitativa das aprendizagens, no incremento da autorregulação e no desenvolvimento de competências de metacognição. No entanto, esta é frequentemente associada à AS, assumindo um carácter pontual, ritualista e afastado dos processos de ensino e aprendizagem, sendo que os seus benefícios residem mais no envolvimento dos alunos no processo de aprendizagem, do que na verificação da consistência das classificações que atribuem a eles mesmos (Machado, 2022).

2.2. Geologia- Vulcanismo

2.2.1. Vulcanologia

Os vulcões e a sua atividade, nomeadamente através das erupções vulcânicas, foram processos essenciais no desenvolvimento e evolução da vida na Terra, mas, em simultâneo, responsáveis pela extinção de inúmeras espécies (Siebert et al., 2015). Da mesma forma, a sua grandiosidade e os eventos destrutivos que geram, têm fascinado e atemorizado numerosas populações humanas ao longo dos séculos, tendo inspirado cultos religiosos e a criação de mitos, relacionados, em parte, com o desenvolvimento de civilizações da Antiguidade Clássica. Com efeito, os próprios vulcões do mundo mediterrânico, como o de Santorini, responsável pelo desaparecimento da cultura minoica, ou ainda o Vesúvio, associado à destruição catastrófica de Pompeia e Herculano, o Etna, o Stromboli e o Vulcano, eram associados a entidades divinas pelos gregos e pelos romanos, que atribuíam a atividade vulcânica à agitação dos deuses (Sigurdsson, 2015).

Embora as erupções vulcânicas tenham durações que, em geral, são curtas à escala humana, a longevidade dos vulcões, enquanto geoformas, ultrapassa largamente a do ser humano, estes passam-no maioritariamente em repouso e é possível classificá-los de acordo com a sua continuidade em ativos, inativos, dormentes e extintos (Siebert et al., 2015).

A importância do vulcanismo reside no facto de este abranger os processos geológicos através dos quais material rochoso oriundo do interior da Terra ascende à superfície, constituindo a única forma que possuímos de observar diretamente processos aos quais não teríamos acesso de outra forma (Lutgens & Tarbuck, 2017). Sendo assim, a Vulcanologia é definida como o ramo da Geologia que estuda todos os aspetos dos processos vulcânicos (Encyclopedia Britannica, 2013).

2.2.2. Tipos de vulcanismo

A atividade vulcânica pode envolver a extrusão de lava e piroclastos, estando assim diretamente relacionada com magma (vulcanismo primário), ou com as consequências da presença deste mesmo magma próximo da superfície terrestre, como é o caso da atividade hidrotermal (vulcanismo secundário ou residual) (Grotzinger & Jordan, 2014). Sendo assim, a atividade vulcânica não se cinge à emissão de lavas e piroclastos, nem cessa quando esta para, também se manifesta pela libertação de calor, de fluidos aquecidos por este calor e gases (Acocella, 2021).

No caso do vulcanismo primário, o magma pode ser estruído através de uma cratera que integra um edifício vulcânico, no caso do vulcanismo central, ou ainda, através de uma fissura aberta numa faixa fraturada da crosta terrestre, no exemplo do vulcanismo fissural. No caso das erupções do tipo central, o magma é expelido através de uma cratera que se encontra ligada a uma conduta que faz a ligação entre o

reservatório de magma (câmara magmática) e o exterior. As sucessivas extrusões de produtos vulcânicos assim edificado e a sua conseqüente solidificação constituem o cone vulcânico. Outros magmas, normalmente de composição basáltica, estruem ao longo de grandes fissuras (riftes) na crosta terrestre, que são alimentadas por diques, designando-se por vulcanismo fissural (Best, 2002).

2.2.2.1. Anatomia de um vulcão

Um vulcão é uma colina ou montanha cuja gênese geomorfológica é resultado da acumulação e conseqüente sobreposição de lavas e de outros materiais vulcânicos (Grotzinger & Jordan, 2014). Todos os elementos envolvidos na seqüência de eventos, desde a fusão de rochas à erupção, constituem um geosistema vulcânico. Neste geosistema, os magmas são transportados até à superfície, através de um sistema de fraturas, decompondo-se em produtos líquidos, sólidos e gasosos, dos quais os primeiros são estruídos na forma de lava (Grotzinger & Jordan, 2014).

Embora os relevos vulcânicos possuam tamanhos e formas variados, para compreender a anatomia de um vulcão vamos considerá-lo na forma cônica idealizada (Fig. 7). A atividade vulcânica inicia-se com a abertura de uma ou mais fraturas na crosta terrestre que se vão alargando à medida que o magma força a sua passagem. Este magma é canalizado para uma conduta que vai fazer a ligação entre a câmara magmática e a superfície terrestre - a chaminé vulcânica - que termina com uma abertura, a cratera vulcânica. A estrutura cônica criada pelas sucessivas erupções de lava e/ou material piroclástico é o cone vulcânico (Lutgens & Tarbuck, 2017).

Nos estágios iniciais, o material é emitido radialmente através da cratera principal; mais tarde também ocorre extrusão através de fissuras que se desenvolvem nos flancos e que podem originar cones adventícios se a atividade perdurar (Lutgens & Tarbuck, 2017).

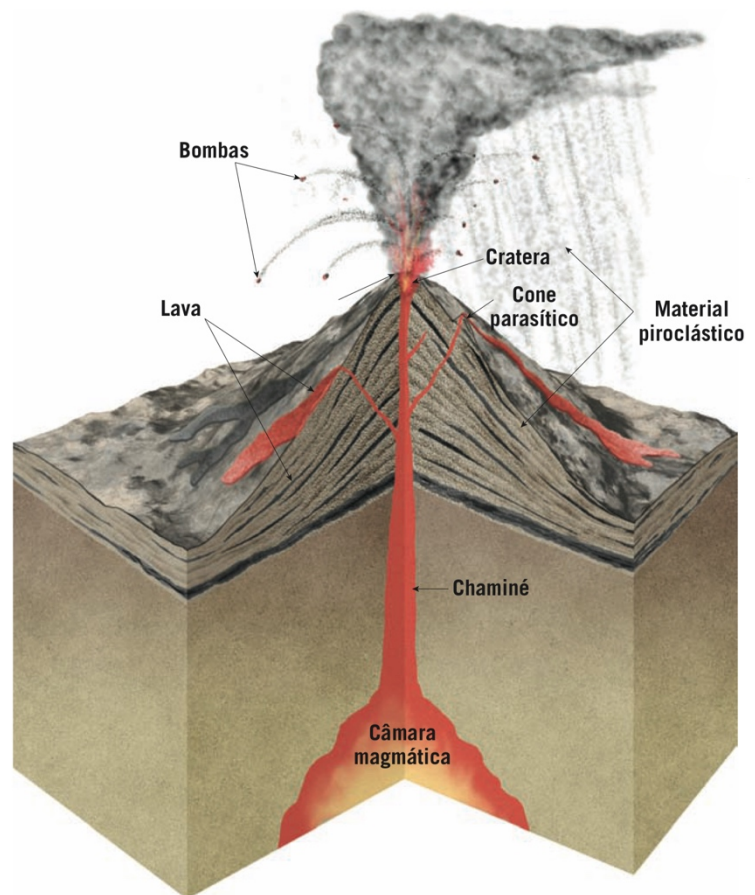


Figura 7 - Anatomia de um vulcão. Adaptado de Lutgens & Tarbuck, 2017.

2.2.3. Magma

As rochas ígneas formam-se por solidificação de material rochoso silicatado, em fusão, existente em câmaras magmáticas no interior da Terra (rochas intrusivas), ou ascendendo até à superfície crostal (rochas extrusivas). Existem dois termos usados por petrólogos para descrever este material rochoso em fusão: magma e *melt* (ou fundido). Magma é o termo mais geral, que se refere a misturas de *melt* e quaisquer cristais suspensos neste. Ou seja, inclui elementos no estado sólido e líquido (Gill & Fitton, 2010). Por outro lado, o *melt* refere-se ao estado fundido (“molten”) da rocha, uma solução líquida e homogénea, excluindo qualquer material sólido suspenso neste ou associado a este (Best, 2002; Gill & Fitton, 2010).

Na maioria dos casos, o *melt* é apenas uma parte do magma, mas está sempre presente e confere-lhe mobilidade (Best, 2002). Magma é, então, compreendido como uma mistura móvel de fases: sólida (cristais suspensos), líquida (*melt*) e gasosa (Best, 2002; Gill & Fitton, 2010). Estes cristais podem ser da rocha-mãe que originou o fundido através de fusão parcial, que cristalizam a partir do *melt* à medida que este arrefece (diferenciação magmática) ou podem ser xenocristais, cristais estranhos incorporados a partir de rochas encaixantes, durante a ascensão do *melt* (Frost & Frost, 2013). Na componente gasosa, os voláteis mais comuns são o dióxido de carbono (CO₂), o vapor de água e o dióxido de enxofre (SO₂) (Lutgens & Tarbuck, 2017).

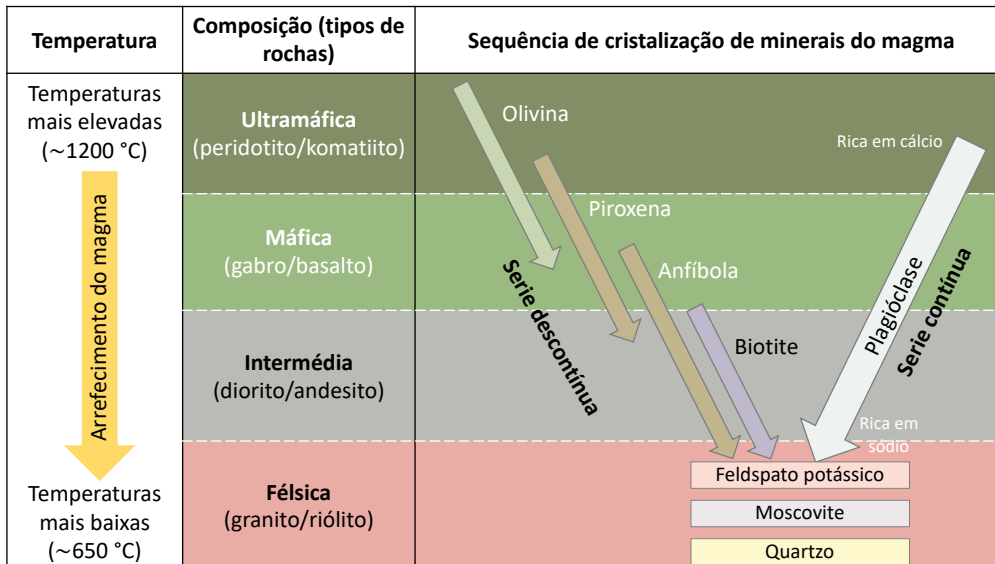
2.2.3.1. Tipos de magmas

A maioria do magma que atinge a superfície terrestre é máfico, de composição basáltica, e tem origem no manto superior, por fusão da rocha ultrabásica peridotito. Estes também são conhecidos por magmas primários ou primitivos, por ainda não terem evoluído. Os magmas básicos formam-se em zonas de rifte, em pontos quentes e zonas de subducção, sendo a sua produção superior nas zonas divergentes entre placas tectónicas (Lutgens & Tarbuck, 2017).

Por outro lado, os magmas evoluídos, nos quais se enquadram os magmas intermédios (andesíticos) e félsicos (riolíticos) estruem, principalmente, ao longo de margens continentais, o que sugere que a crosta continental tem um papel na formação deste tipo de magma. Sendo assim, os magmas evoluídos podem ser produzidos através de magmas básicos, quando ocorre diferenciação magmática. Bowen e os seus colaboradores demonstraram que, à medida que um magma basáltico arrefece, os minerais cristalizam conforme as suas temperaturas de fusão (Tab. II). Primeiro formam-se os minerais ferromagnesianos, com maiores temperaturas de fusão, e depois os minerais félsicos, com menores temperaturas de fusão. Durante a cristalização, a composição do fundido altera-se em função dos primeiros cristais que se formam, tornando-se gradualmente mais ácida, à medida que sofre diferenciação magmática. Os primeiros elementos químicos a serem removidos do fundido são ferro, magnésio e

cálcio, enriquecendo o fundido em sódio e potássio e, como os minerais que se formam inicialmente são pobres em sílica (SiO₂), o fundido que resta fica mais rico em SiO₂ (Lutgens & Tarbuck, 2017).

Tabela II – Esquematisação das séries de Bowen. Adaptado de Lutgens & Tarbuck, 2017.



Durante a ascensão de magma na crosta continental, os minerais ferromagnesianos pobres em SiO₂ cristalizam primeiro devido à sua maior temperatura de fusão, restando um *melt* de composição andesítica. Os magmas andesíticos também se podem formar quando magmas básicos assimilam rochas da crosta continental ricas em SiO₂. Por fim, magmas graníticos podem ser gerados quando um magma basáltico, mais quente, entra em contacto com a crosta continental e provoca a fusão parcial destas rochas encaixantes ricas em SiO₂, que possuem pontos de fusão comparativamente mais baixos (Lutgens & Tarbuck, 2017).

Estes magmas são frequentemente mencionados pelos nomes referentes às rochas extrusivas que originam. Consideram-se, desta forma, três categorias fundamentais de magmas em função do seu teor em SiO₂ (Tab. III). Os magmas basálticos têm o menor teor em SiO₂ (50%), o menor teor em voláteis (0.5-2%) e estruem a temperaturas mais elevadas. No outro extremo temos os magmas riolíticos com o maior teor em SiO₂ (70%) e em voláteis (5-8%), estruindo a temperaturas mais baixas. Os magmas andesíticos possuem características intermédias entre os dois anteriores. Em função da sua composição e temperatura, os magmas aumentam em viscosidade do basáltico para o riolítico (Lutgens & Tarbuck, 2017).

Em áreas continentais e oceânicas, magmas com origem mantélica são passíveis de sofrer arrefecimento e cristalização parciais em reservatórios de armazenamento na crosta - as câmaras magmáticas. Estes processos alargam a diversidade da composição de magmas que podem, eventualmente, atingir a superfície (Gill & Fitton, 2010).

Tabela III - Propriedades de magmas com diferentes composições químicas. Adaptado de Lutgens & Tarbuck, 2017.

Propriedade do magma Composição do magma	Teor em SiO ₂ (%)	Teor em voláteis (% por peso)	Temperatura de erupção (°C)	Viscosidade	Paisagem vulcânica
Máfico (Basáltico) Elevada em Fe, Mg e Ca, baixa em K e Na	Baixo (~50)	Baixo (~0.5 - 2)	Elevada (1000 - 1250)	Baixa	Vulcão em escudo, planaltos basálticos
Intermédio (Andesítico) Quantidades variáveis de Fe, Mg, Ca, K e Na	Intermédio (~60)	Intermédio (~3 - 4)	Intermédia (800 - 1050)	Intermédia	Estratovulcões
Félsico (Granítico) Elevada em K e Na, baixa em Fe, Mg e Ca	Elevado (~70)	Elevado (~5 - 8)	Baixa (650 - 900)	Elevada	Depósitos de piroclastos de fluxo, domos

2.2.3.2. Propriedades de um magma: viscosidade

As propriedades do fundido influenciam de forma significativa o comportamento dinâmico de todo o magma (Best, 2002). Duas das principais propriedades de um magma são a viscosidade e o conteúdo em gases, ambos diretamente relacionados com a composição desse magma. A viscosidade é uma medida da mobilidade de um fluido e dos seus iões, pelo que quanto maior a viscosidade, maior é a sua resistência ao escoamento. A viscosidade depende da temperatura e do conteúdo em SiO₂ do magma (Lutgens & Tarbuck, 2017).

À escala atômica, quanto maior a temperatura, maior a mobilidade dos iões no fundido, ou seja, a quebra das ligações e formação de novas configurações ocorre com maior facilidade. Como o SiO₂ é o constituinte mais abundante na maioria dos fundidos naturais, a unidade estrutural básica é o tetraedro (SiO₄)⁴⁻ (Fig. 8). Sendo assim, o *melt* silicatado pode ser visto como uma rede tridimensional de polímeros de tetraedros de Si-O (Fig.9) (Best, 2002).

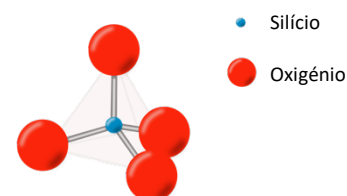


Figura 8 - Tetraedro de silício, em que um átomo de silício está ligado a quatro átomos de oxigênio. Adaptado de CK-12.

Cada átomo de silício (Si) está ligado a quatro átomos de oxigênio (O) nos minerais silicatados. Cada O pode ligar-se a outro átomo de Si (oxigênio ligante), ou criar uma ligação mais fraca a outro catião (oxigénios não ligantes) (Winter, 2001). Existem, portanto, quatro tipos diferentes de iões: (1) Catiões formadores de malha – Si⁴⁺ fortemente ligados a (2) oxigénios ligantes e (3) catiões modificadores de malha de Ca e Mg, que formam ligações fracas com (4) oxigénios não ligantes em arranjos não tetraédricos (Best, 2002).

A razão entre os oxigénios não ligantes e os catiões formadores de malha (Si e Al) é uma medida do grau de polimerização num *melt*. Rácios baixos correspondem a elevados graus de polimerização. Num *melt* de SiO₂ completamente polimerizado este rácio é igual a zero, porque não existem oxigénios não ligantes, estando todos ligados a silício. Num *melt* de CaMgSi₂O₆ o rácio é igual a 2, por estar parcialmente polimerizado (Best, 2002).

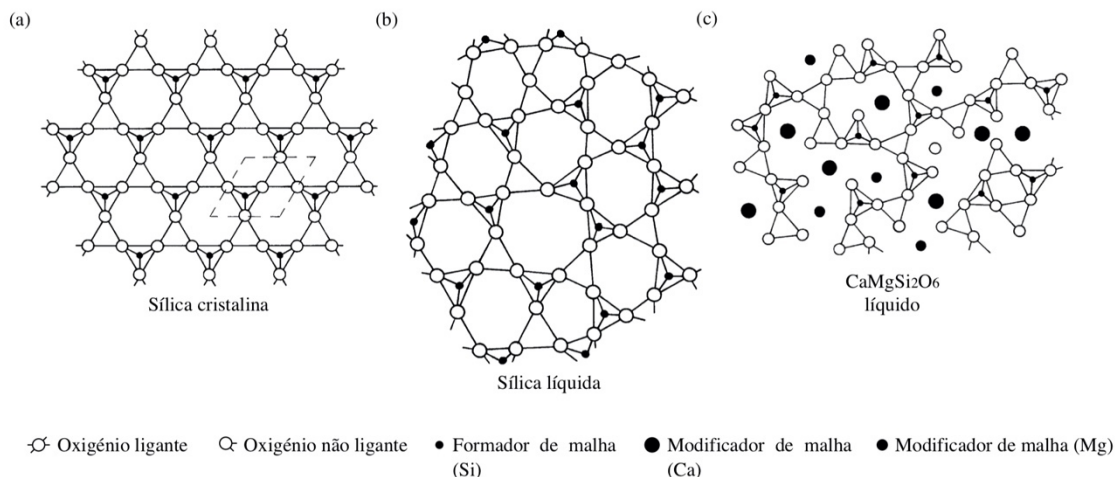


Figura 9 - Modelos conceituais da estrutura atômica de fundidos silicatados (b) e (c) comparados com a estrutura simétrica da sílica cristalina (a). Adaptado de Best, 2002.

A viscosidade é a propriedade dinâmica mais importante de um *melt*, pois, como se referiu, é uma medida da facilidade de escoamento de um líquido (*melt*) e da mobilidade dos iões. Desta forma, um *melt* mais polimerizado possui um maior número de ligações entre os iões e uma menor mobilidade desses iões e, conseqüentemente, maior viscosidade. O aumento da concentração de cátions modificadores de malha pode resultar na despolimerização de *melts*, reduzindo a sua viscosidade (Best, 2002).

Sendo assim, *melts* riolíticos não possuem oxigénios não ligantes e são altamente viscosos, enquanto *melts* máficos, pobres em SiO₂ e com maiores quantidades de Fe e Mg, cátions modificadores de malha, são menos polimerizados e, conseqüentemente, menos viscosos (Best, 2002).

2.2.3.3. Formação e origem

Os magmas formam-se a grandes profundidades no interior da Terra. Mais especificamente, a fusão inicial ocorre geralmente no manto superior ou na crosta inferior, embora a passagem do magma pela crosta continental possa causar fusão adicional, contribuindo assim para a diversidade e complexidade química e petrológica das rochas magmáticas continentais (Gill & Fitton, 2010). As evidências do estudo das ondas sísmicas indicam que a crosta e o manto terrestres são maioritariamente sólidos (Fig. 10) (Lutgens & Tarbuck, 2017). Todavia, os

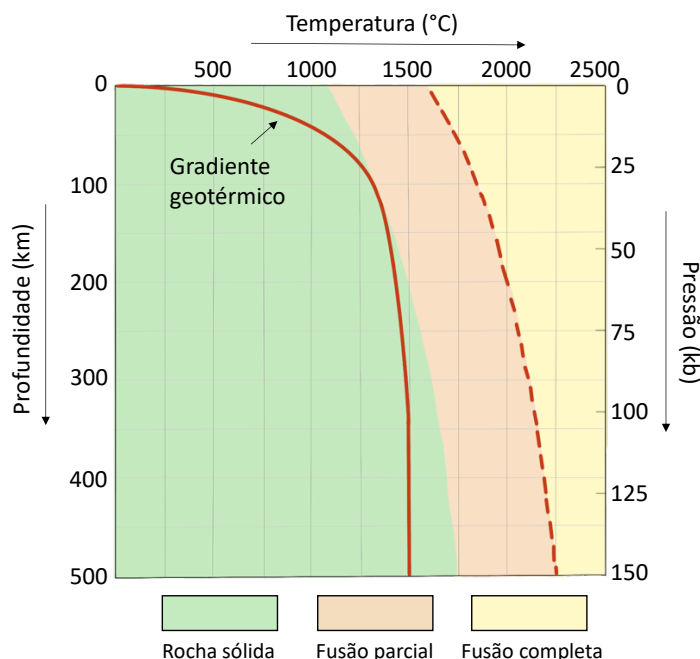


Figura 10 - Diagrama do gradiente geotérmico na crosta e manto superior e das zonas que delimitam as condições de pressão e temperatura necessárias à fusão parcial e completa das rochas. Adaptado de Lutgens & Tarbuck, 2017.

vulcões, as minas e a realização de sondagens fornecem registos que demonstram, não só que a temperatura do interior da Terra aumenta com a profundidade, mas, também, que existem locais que apresentam temperaturas mais elevadas para uma mesma profundidade, o que sugere que existem zonas da crosta e do manto mais quentes do que outras (Grotzinger & Jordan, 2014). Este aumento da temperatura com a profundidade é conhecido como gradiente geotérmico. Como se pode observar na figura 10, a temperatura a que o peridotito funde é superior ao gradiente geotérmico, o que significa que em condições normais o manto é sólido. Contudo, se as condições se alterarem pode dar-se início à fusão parcial das rochas do manto (Lutgens & Tarbuck, 2017).

2.2.3.4. Fatores que afetam a temperatura de fusão das rochas

A fusão parcial das rochas pode ser provocada por uma diminuição da pressão, pela adição de água no meio e por um aumento da temperatura (Lutgens & Tarbuck, 2017).

Se a temperatura fosse o único fator responsável pela fusão, o interior da Terra seria líquido. Isto não se verifica devido à pressão, que também aumenta com a profundidade e influencia a temperatura de fusão das rochas (Fig. 10). Desta forma, com o aumento da profundidade, é necessária uma temperatura mais elevada para que ocorra fusão, porque também aumenta a pressão confinante exercida pelo peso das rochas encaixantes. Quando a pressão confinante diminui, por ascensão de material quente aquecido para zonas de menor pressão, ocorre fusão por descompressão. Este processo é responsável pela formação de magma sob os riftes oceânicos, onde as placas tectónicas se afastam, bem como em plumas mantélicas, quando estas atingem o manto superior (Lutgens & Tarbuck, 2017).

Da mesma forma que o sal é usado para acelerar a fusão do gelo, a água e outros voláteis baixam o ponto de fusão das rochas, possibilitando que estas fundam a temperaturas mais baixas. Normalmente, a introdução de água ocorre nos limites convergentes de placas tectónicas, quando uma placa oceânica é subductada para o manto. Ao afundar, a temperatura e a pressão aumentam e forçam a saída da água, das rochas da placa subductada e dos sedimentos que a cobrem, para o prisma de acreção mantélico situado diretamente acima. Uma zona do manto em que, em circunstâncias normais, não seria possível ocorrer fusão, passa a possibilitar a fusão parcial do peridotito que gera magmas basálticos (Lutgens & Tarbuck, 2017).

Por último, o magma basáltico é menos denso do que as formas que lhe deram origem, o que lhe confere fluatuabilidade e permite que ascenda em direção à superfície. No entanto, em contextos continentais, o magma basáltico a altas temperaturas estagna na base das rochas menos densas e, devido à menor temperatura de fusão destas, pode

causar a sua fusão originando magmas félsicos mais ricos em SiO₂ (Lutgens & Tarbuck, 2017).

2.2.3.5. Ascensão de magmas

Apenas 10-30% do magma gerado atinge a superfície (Grotzinger & Jordan, 2014). Isto sugere que existem condições necessárias à ascensão e extrusão do magma. É necessário que dois requisitos sejam satisfeitos: a existência de uma conduta que faça a ligação entre o corpo magmático e a superfície e um magma com capacidade de se movimentar e ser impulsionado através da conduta, até à superfície. O magma pode ascender do local onde foi gerado, crosta inferior ou manto superior, ou de uma câmara magmática instalada na crosta menos profunda (Best, 2002).

Como se referiu, a ascensão de um magma é controlada pela sua fluviabilidade e pela sua viscosidade (Fig. 11). Quando ocorre fusão parcial das rochas do manto, o magma básico que se forma é menos denso do que as rochas que lhe deram origem. Em contexto continental, como as rochas da crosta continental são menos densas do que os magmas basálticos, estes estagnam na base da crosta, num processo chamado “*underplating*”. Por se encontrar a uma temperatura muito superior à temperatura de fusão das rochas crostais, o magma básico provoca a sua fusão, o que gera um magma mais ácido e menos denso, capaz de ascender na crosta continental (Lutgens & Tarbuck, 2017).

Em profundidade, os gases estão completamente dissolvidos no *melt*, mas, a certa altura, o magma em ascensão vai ultrapassar um limite de saturação, o que leva a que os gases se comecem a separar desse *melt*. A ascensão e consequente descompressão leva à expansão de bolhas já existentes e à formação de novas bolhas. Numa conduta, a expansão causada pelo gás vai impulsionar o magma para a única direção em que essa expansão é possível, ou seja, para cima (Gill & Fitton, 2010).

Na sua ascensão, os magmas perdem parte do conteúdo volátil para a atmosfera, passando a denominar-se lava (Gill & Fitton, 2010).

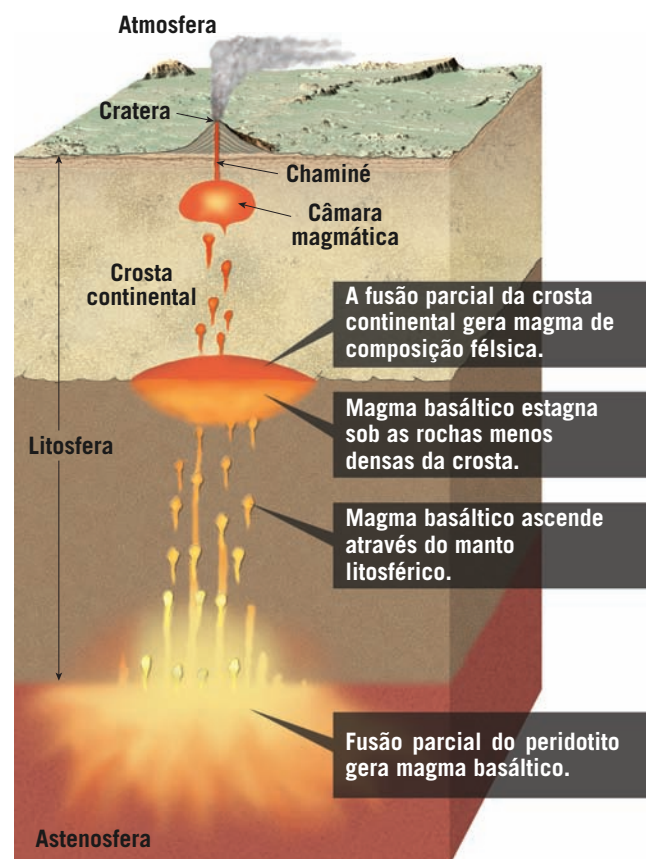


Figura 11 - Formação e ascensão de magmas basálticos e graníticos. Adaptado de Lutgens & Tarbuck, 2017.

2.2.4. Produtos da atividade vulcânica

2.2.4.1. Lavas

Um dos produtos da atividade vulcânica são as lavas, que podem ser basálticas, andesíticas ou riolíticas, conforme a sua composição e o tipo de rocha vulcânica que originam aquando da sua solidificação. As lavas basálticas resultam da erupção, e consequente perda de grande parte da sua componente volátil, de magmas basálticos fluidos que, devido à sua elevada temperatura e ao seu baixo teor em SiO₂, percorrem grandes distâncias. No momento da sua extrusão, a temperaturas de 1000 °C a 1200 °C, estas lavas são vermelhas e amarelas, mas quando arrefecem ganham uma tonalidade preta ou cinzento-escura (Grotzinger & Jordan, 2014).

A manifestação mais comum de magmas basálticos à superfície terrestre é através de escoadas lávicas, caracterizadas por um rácio largura/comprimento baixo, normalmente menos de 1/50. A emissão subaérea de grandes quantidades de basaltos culmina na formação de escoadas lávicas com diferentes morfologias: *a'a* e *pahoehoe* (Fig. 12) (Gill & Fitton, 2010).

As lavas *pahoehoe* (encordoado em Havaiano) ou encordoadas são mais fluidas e são caracterizadas por superfícies mais ou menos lisas, onduladas ou enrugadas. Este enrugamento é explicado pela fluência de lava no interior da escoada, enquanto ocorre solidificação da superfície em contacto com a atmosfera. Esta morfologia também comprova que a película externa mantém alguma ductilidade enquanto solidifica. Uma

secção desta camada dúctil fica ancorada nas extremidades enquanto a parte central continua a ser arrastada pela lava, ainda líquida, abaixo desta. A escoadas de lava *pahoehoe* que se movem lentamente, progridem através da formação de lobos sucessivos (Gill & Fitton, 2010). Neste tipo de lavas é comum a formação de tubos lávicos no interior das escoadas, onde a temperatura se mantém elevada mesmo passado muito tempo após a solidificação da sua superfície. Os tubos lávicos são percursos isolados, dentro de uma escoada, que permitem que a lava alcance grandes distâncias a partir da fonte (Lutgens & Tarbuck, 2017).

Em contraste, a superfície áspera e fragmentada das lavas *a'a* ou escoriáceas é o testemunho do comportamento frágil do material arrefecido enquanto se movia. Nestas lavas, mais viscosas quando comparadas com as encordoadas, a camada superficial arrefece e forma-se uma película espessa que se fragmenta em blocos irregulares que são arrastados para a frente, mais íngreme, onde se vão depositando os fragmentos, à medida que a lava se movimentava. Têm, portanto, um aspeto rugoso e exibem



Figura 12 - Avanço de uma escoada ativa de lava escoriáceas sobre lavas encordoadas. Adaptado de Lutgens & Tarbuck, 2017.

fragmentos no topo e na base (Gill & Fitton, 2010). No caso de ser uma lava bastante mais espessa, a fragmentação vai originar pedaços de maiores dimensões cujo nome é lava em blocos (Acocella, 2021).

O arrefecimento ocorre à medida que a lava se afasta da fonte, e a diminuição da temperatura aumenta a viscosidade. Desta forma, uma escoada basáltica vai apresentar características do tipo *pahoehoe* perto da fonte, onde a lava é mais fluida e se encontra a temperaturas mais elevadas, e características do tipo *a'a* mais afastada da fonte, onde a superfície da escoada já se tornou mais espessa (Lutgens & Tarbuck, 2017). Normalmente, as lavas *pahoehoe* estruem a temperaturas mais elevadas e encontram-se próximas da cratera e, ao se afastarem, ficam mais espessas e passam a *a'a* na sua descida. Adicionalmente, a morfologia *pahoehoe* é, normalmente, observada em lavas basálticas de baixa viscosidade, enquanto que as superfícies características das *a'a* são associadas a basaltos e tipos de lavas mais evoluídos (mais viscosas). Portanto, com o aumento da distância à cratera e o conseqüente arrefecimento e aumento na viscosidade da lava, pode suceder a passagem de lavas encordoadas a escoriáceas (Gill & Fitton, 2010).

A transição de comportamento dúctil a frágil é mediada por dois fatores: a temperatura e a taxa de deformação. O comportamento dúctil é favorecido por elevadas temperaturas e/ou baixas taxas de tensão (deformação lenta), enquanto o comportamento frágil é favorecido por temperaturas mais baixas e/ou taxas de tensão mais elevadas. Outro fator que pode contribuir para esta mudança de comportamento é a perda de voláteis com o avanço da escoada (Gill & Fitton, 2010).

Existe um outro tipo de lava básica análoga às encordoadas, mas cuja extrusão é subaquática. A extrusão de lavas fluidas basálticas em meio aquático leva à formação de estruturas tipo “balão”, designando-se lavas em almofada (Fig. 13). A parte exterior da lava, ao contactar com a água, mais fria, solidifica. Forma-se um envelope dúctil que expande com a lava que continua a ser injetada no seu interior, até que o arrefecimento impede a continuação da expansão e o material, frágil, quebra. Destas brechas é libertada mais lava que irá formar outra almofada adjacente. Sendo assim, estas almofadas estão interligadas por tubos lávicos (Gill & Fitton, 2010). Estas estruturas são importantes na determinação do ambiente em que ocorreu a extrusão (Lutgens & Tarbuck, 2017).

As escoadas basálticas dominam as superfícies de muitos dos centros basálticos do mundo, como o Havai, as ilhas Galápagos e a Islândia (Harris & Rowland, 2015). Em 1825, William Ellis descreveu as lavas *a'a* e *pahoehoe* no Havai, não lhes tendo, no entanto, atribuído nenhuma nomenclatura. A introdução dos termos havaianos na literatura geológica é creditada a Clarence Edward Dutton que, em 1883, descreveu os dois tipos, relatando os termos usados pela população nativa para

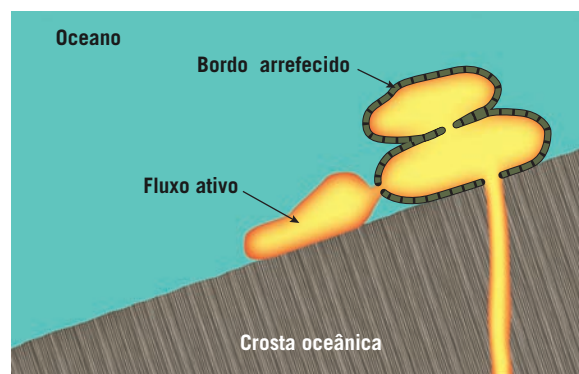


Figura 13 – Esquema de formação de lavas em almofada. Adaptado de Lutgens & Tarbuck, 2017.

se referirem às lavas (Harris et al., 2016). O terceiro tipo de lava, lavas em bloco, foi definido por Finch em 1947 e estes três tipos foram formalizados por Macdonald em 1953, sendo os que se encontram definidos até hoje (Harris & Rowland, 2015).

2.2.4.2. Piroclastos

Quando ocorrem erupções mais explosivas, há ejeção de rocha pulverizada, de fragmentos de lava e de vidro vulcânico. Estes materiais denominam-se piroclastos (*pyro* = fogo, *clasto* = fragmento) (Lutgens e Tarbuck, 2017), fragmentos sólidos de magma ou material derivado de magma (Gill & Fitton, 2010). Estes podem ser classificados segundo as dimensões dos clastos, a forma de deposição e a textura e composição.

Os piroclastos são classificados através dos intervalos de dimensões que também são usados para as rochas sedimentares clásticas, em ordem crescente de dimensões: cinzas, *lapilli* e bombas ou blocos (Gill & Fitton, 2010). Fragmentos com diâmetro superior a 64 mm designam-se bombas ou blocos. Os primeiros diferenciam-se dos segundos por, na altura da erupção, serem ejetados como lava incandescente. Isto permite que a sua morfologia, semelhante a uma bola de rãguebi, seja moldada pela extensão e velocidade do voo. Por outro lado, os blocos já se encontram no estado sólido aquando da sua erupção. Se os materiais, no estado sólido ou líquido, tiverem dimensões entre os 2 e os 64 mm (na altura da erupção) denominam-se *lapilli*. Por último, as cinzas são materiais ejetados cujo diâmetro é inferior a 2 mm (Frost & Frost, 2013; Lutgens & Tarbuck, 2017).

Relativamente à forma de deposição, existem dois tipos de piroclastos, os de queda e os de fluxo (Gill & Fitton, 2010), que fornecem informação acerca processo eruptivo. Os depósitos de queda formam-se quando o material piroclástico cai diretamente da atmosfera. Devido à sua forma de deposição, estes cobrem a topografia de uma área local com uma camada de tefra uniforme (Fig. 14A). No caso de grandes áreas, há uma diminuição da espessura da camada e tamanho do grão com o aumento da distância à fonte (Frost & Frost, 2013).

Os depósitos piroclásticos de fluxo formam-se a partir de avalanches de fragmentos piroclásticos. O movimento é análogo ao de outros fluxos

detríticos. Este tipo de depósito é caracterizado por material mal calibrado com um *continuum* de dimensões, desde blocos grandes a cinzas finas, porque não há espaço ou tempo para calibração numa avalanche de partículas empacotadas que se move rapidamente. Como os fluxos piroclásticos são controlados pela gravidade, em vez de cobrirem a topografia, preenchem as depressões topográficas (Fig. 14B). Em contraste, os depósitos de queda são bem calibrados, porque durante o transporte através da

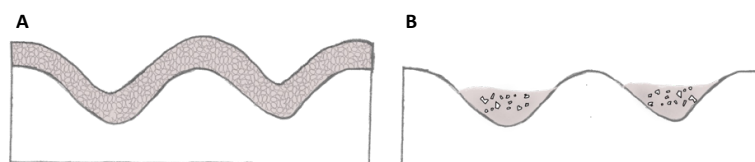


Figura 14 - Depósitos piroclásticos de queda, bem calibrados e distribuídos numa camada uniforme (A). Depósitos piroclásticos de fluxo, mal calibrados preenchem depressões topográficas (B). Adaptado de Gill & Fitton, 2010.

atmosfera as partículas são selecionadas pelo tamanho e pela densidade (Frost & Frost, 2013).

Os piroclastos podem ainda ser classificados pela sua textura e composição (Lutgens & Tarbuck, 2017) em pedra pomes, líticos e escória (Nunes, 2002). A maioria dos piroclastos forma-se como produtos juvenis quentes de erupções explosivas, possuindo uma quantidade elevada de vesículas, manifesto de um magma rico em voláteis. A vesiculação é máxima nas pedras pomes, de composição intermédia a ácida, que chegam a flutuar em água devido à sua baixa densidade. No caso de os piroclastos vesiculares terem origem num magma andesítico ou basáltico, designam-se escória (Gill & Fitton, 2010) e apresentam uma cor mais escura entre preto e castanho avermelhado (Lutgens & Tarbuck, 2017). Os piroclastos líticos são fragmentos rochosos, densos e maciços, que podem resultar ou não da solidificação do magma emitido (Nunes, 2002).

Os *lahars* e as nuvens ardentes são casos específicos de fluxos piroclásticos. Os *lahars* são depósitos resultantes de escoadas de lama que se formam pela saturação de detritos vulcânicos em água, da chuva ou fruto da fusão de gelo no cume do vulcão. As nuvens ardentes são fluxos piroclásticos, constituídos por clastos envolvidos em gás a elevada temperatura, de alta densidade que se deslocam junto ao solo (Nunes, 2002).

2.2.5. Paisagens vulcânicas

As propriedades do magma que estrui à superfície vão influenciar as dimensões e a morfologia do edifício vulcânico que se forma como consequência da solidificação dos materiais expelidos (Fig. 15) (Grotzinger & Jordan, 2014).

Nem todos os vulcões correspondem à imagem de um cone solitário. Os relevos vulcânicos, tal como as erupções, existem numa grande variedade de tamanhos e formas, e cada um tem um historial eruptivo único. Não obstante, é possível classificar os relevos vulcânicos e determinar os seus padrões eruptivos (Lutgens & Tarbuck, 2017). A estrutura que se forma como consequência da emissão de lavas e/ou piroclastos, reflete as características do magma e da erupção (Grotzinger & Jordan, 2014).

Vulcões de maiores dimensões, como os vulcões em escudo e os estratovulcões, são construídos em escalas temporais de Ma através de erupções episódicas de magma a cada 1 a 100 anos. A atividade vulcânica recorrente reflete um reabastecimento de magma. Estes tipos de vulcão são de grande longevidade e denominam-se poligenéticos. Por outro lado, se um vulcão se formar a partir de um único episódio eruptivo com duração de meses a anos, após os quais a atividade cessa, a atividade é monogenética e produz edifícios vulcânicos de pequenas dimensões, como cones de cinzas ou domos riolíticos (Best, 2002). Segundo Lutgens e Tarbuck (2017), é devido a este curto tempo relativo de atividade que estes relevos possuem menores dimensões (entre 30 a 300 m de altura), quando comparados com outros vulcões.

Um cone de lava é constituído por sucessivas escoadas lávicas expelidas de uma abertura central, a cratera, ou de fissuras. Os vulcões que se formam como consequência da emissão e solidificação de lavas basálticas fluidas, capazes de percorrer grandes distâncias, denominam-se vulcões em escudo. Este nome reflete os pendores moderados dos flancos, a sua secção plano-convexa e a grande extensão do vulcão (Grotzinger & Jordan, 2014), assim como o contraste entre a sua largura na base, muito superior à sua altura total. A inclinação suave dos flancos deve-se às escoadas lávicas quentes e fluidas que se afastam rapidamente da cratera e percorrem grandes distâncias, solidificando em camadas finas sobrepostas umas às outras. A maioria destes vulcões começa como um monte submarino no fundo oceânico e alguns adquirem dimensões suficientes para surgir acima do nível da água do mar e originar ilhas vulcânicas (Lutgens & Tarbuck, 2017), como é o caso do Mauna Loa no Havai, a montanha mais alta do mundo, embora se encontre apenas 4 km acima do nível da água do mar (Grotzinger & Jordan, 2014).

No caso de as erupções de lavas basálticas fluidas ocorrerem ao longo de grandes fissuras formam-se extensas planícies e planaltos basálticos, em vez de vulcões em escudo como é o caso das erupções centrais (Grotzinger & Jordan, 2014; Lutgens & Tarbuck, 2017). Estes ocorrem tanto em ambiente continental como no fundo oceânico (Lutgens & Tarbuck, 2017).

Os edifícios vulcânicos de menor dimensão (entre 30 m a 300 m de altura) são os cones de piroclastos, devido à sua rápida formação, em cerca de um ano, e curta longevidade. Estes são constituídos maioritariamente por acumulação de materiais piroclásticos de composição basáltica, como cinzas e escórias, o que resulta no desenvolvimento de vertentes íngremes (inclinação entre 30° a 40°) (Grotzinger & Jordan, 2014; Lutgens & Tarbuck, 2017). Os fragmentos de maiores dimensões, depositam-se perto da cratera e originam flancos íngremes, mas estáveis, enquanto as partículas mais finas são transportadas para mais longe o que resulta em declives mais suaves na base do cone e numa morfologia concava (Grotzinger & Jordan, 2014).

Por último, falta mencionar o tipo de edifício vulcânico mais comum, o estratovulcão, sendo um cone de grandes dimensões, quase simétrico e, tal como o nome indica, composto por alternância de estratos de escoadas lávicas e de piroclastos. A sua morfologia é fruto do material viscoso que os originou, magmas andesíticos ricos em SiO₂ que dão origem a lavas viscosas que não percorrem mais do que alguns quilómetros (Lutgens & Tarbuck, 2017). Assim, tal como no exemplo anterior, os materiais mais grosseiros são projetados perto da cratera, enquanto os mais finos se dispersam sobre uma maior área, mais distante, originando um cone concavo). Ocorrem frequentemente em zonas de subducção e alguns exemplos são o Monte Fuji, no Japão e o Monte Vesúvio, em Itália (Grotzinger & Jordan, 2014).

Existem outros tipos de relevos vulcânicos para além dos vulcões. Quando lavas riolíticas, ricas em SiO₂, são tão viscosas que dificilmente fluem, podem acumular no interior da chaminé vulcânica ou da cratera, onde solidificam, originando agulhas

vulcânicas e domos vulcânicos (dezenas de metros de altura), respectivamente. O magma que ascende pelas fissuras pode solidificar nestas condutas aquando da inatividade de um vulcão, originando agulhas vulcânicas, com morfologia grosseiramente cilíndrica, que podem ser expostas pela ação da erosão. Por fim, o colapso de domos pode gerar fluxos piroclásticos (Lutgens & Tarbuck, 2017).

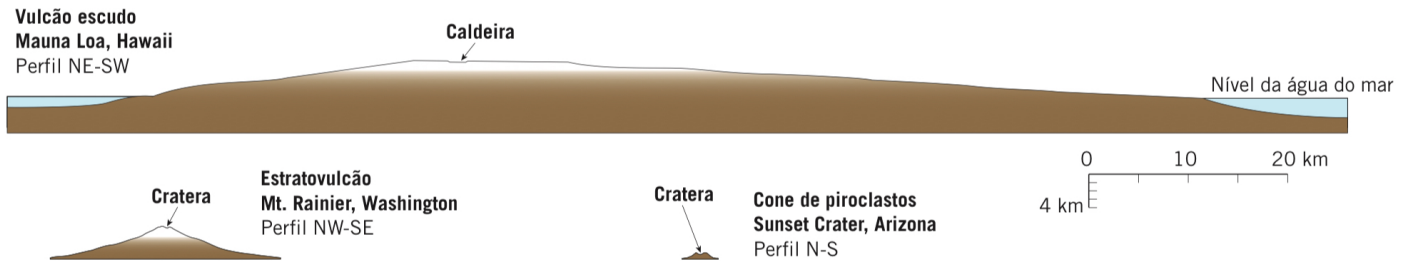


Figura 15 - Comparação das dimensões de diferentes vulcões. Adaptado de Lutgens & Tarbuck, 2017.

2.2.5.1. Caldeiras

Quando grandes quantidades de magma evoluído são expelidas de uma câmara magmática de grandes dimensões e de forma muito rápida, levando ao seu esvaziamento, cria-se uma instabilidade no teto dessa câmara magmática. Isto pode resultar no seu colapso e subsidência, com conseqüente formação de uma depressão circular de vertentes inclinadas, designada por caldeira (Fig. 16). Devido à sua grande extensão, podendo atingir 50 km de diâmetro, e à dimensão das suas erupções, estas estruturas também são associadas aos “supervulcões”, como é o caso de Yellowstone (Grotzinger & Jordan, 2014).

As caldeiras de abatimento formam-se devido ao colapso do cume de um estratovulcão, após uma erupção explosiva com emissão de pedra pomes e de cinzas. Com a saída do magma da câmara magmática há uma diminuição da pressão nesta, o peso do cone é demasiado e ocorre o abatimento. Após o abatimento, a caldeira pode ser preenchida por água, formando uma lagoa (Lutgens & Tarbuck, 2017). Em Portugal, mais especificamente na ilha de S. Miguel no arquipélago dos Açores, existe a lagoa das Sete Cidades localizada na caldeira do mesmo nome.

No caso das caldeiras de subsidência, também conhecidas como o tipo Havaiano, estas formam-se por perdas sucessivas de magma a partir de uma câmara situada a pouca profundidade e por subsidência gradual, à medida que o cume perde a sustentação. Um exemplo disto são os vulcões em escudo Mauna Loa e Kilauea, no Havai (Lutgens & Tarbuck, 2017).

As caldeiras ressurgentes, também conhecidas como o tipo de Yellowstone, resultam de erupções que ejetam elevadas quantidades de material piroclástico na forma de fluxos piroclásticos, em que os fragmentos incandescentes fundem uns com os outros após a sua deposição (Lutgens & Tarbuck, 2017). O que diferencia este tipo de caldeira é o soergimento do seu substrato após centenas de milhares de anos, devido a novo fornecimento de magma (Grotzinger & Jordan, 2014). Estas são das maiores estruturas vulcânicas na Terra, conhecidas como “supervulcões” (Lutgens & Tarbuck, 2017).

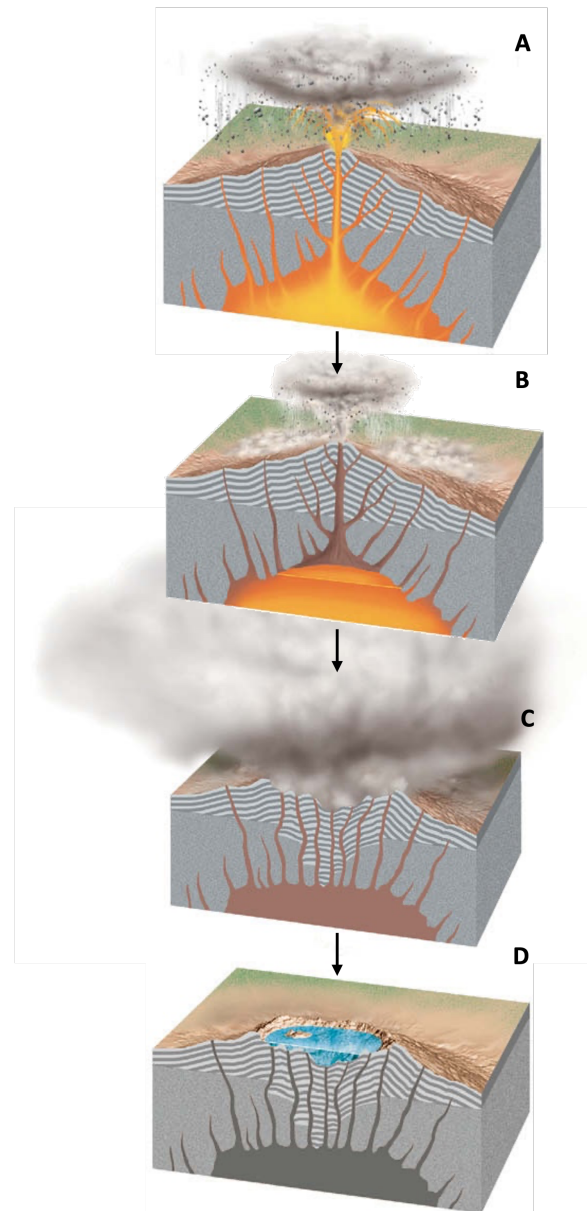


Figura 16 - Sequência de formação de uma caldeira de abatimento. A – erupção vulcânica; B – esvaziamento da câmara magmática; C – subsidência do cume e formação de caldeira; D – formação de lagoa. Adaptado de Grotzinger & Jordan, 2014.

2.2.6. Tipos de atividade vulcânica

Existe uma grande variedade de estilos de erupção em diferentes vulcões. Também no mesmo vulcão ativo, as características eruptivas podem ser diferentes em erupções diferentes. Os vulcanólogos dividem as erupções em categorias que refletem os processos físicos dominantes, observados ao longo dessas manifestações vulcânicas. Esta abordagem e os adjetivos usados, como havaiano e vulcaniano, foram introduzidos inicialmente pelo vulcanólogo Giuseppe Mercalli, em 1907 (Gill & Fitton, 2010).

O uso dos termos “efusiva” e “explosiva” é uma forma conveniente de distinguir um tipo de atividade vulcânica em que, no primeiro caso, o principal produto é lava fluida, e no segundo caso, piroclastos. E, embora convenientes, é necessário reconhecê-los pelo que são, extremos de um *continuum*. Ao longo de uma erupção, a atividade vulcânica pode alterar-se. Por exemplo, episódios únicos de atividade vulcânica que ocorrem após um período de repouso, iniciam-se de forma explosiva e, à medida que o fornecimento de magma ácido, menos denso, no topo da câmara magmática se esgota, evoluem para atividade efusiva. O que determina se a atividade é efusiva ou explosiva é a viscosidade e o teor em voláteis do magma (Gill & Fitton, 2010).

Sendo assim, a atividade efusiva é favorecida por magmas fluidos de natureza basáltica, com baixo teor em SiO_2 , a altas temperaturas e com um baixo teor de voláteis dissolvidos. A fluidez da lava basáltica leva à construção de extensos planaltos basálticos, ou *trapps*, e/ou de vulcões com vertentes plano-convexas, de pendores moderados (Gill & Fitton, 2010).

Por outro lado, se magmas mais frios, viscosos e evoluídos, com maior teor em SiO_2 , também forem ricos em voláteis, estes têm maior probabilidade de estruir de forma explosiva. As alterações que o *melt* sofre devido à descompressão e vesiculação, aquando da sua ascensão, vão acentuar esta tendência (Gill & Fitton, 2010).

A classificação das erupções pode ser feita de forma descritiva, ou através da análise dos depósitos piroclásticos de queda, como sugeriu G. P. L. Walker em 1973. Segundo o vulcanólogo, a observação de um evento desta natureza é feita, normalmente, por acaso e não permite uma observação de perto, devido ao perigo associado. Desta forma, sugere basear-se em duas características dos depósitos piroclásticos: o grau de fragmentação (índice de fragmentação - F), que serve como uma medida da explosividade de uma erupção e a área em que os depósitos se dispersam (índice de dispersão - D), que reflete a altura da coluna de erupção (Fig. 17) (Gill & Fitton, 2010). No entanto, estes critérios não têm em conta outras características das erupções que não estejam diretamente relacionadas com os piroclastos, como a existência de fontes de lava. Desta forma, optou-se por focar nos critérios da classificação de Walker, utilizada atualmente (Gill & Fitton, 2010), e salientar alguns aspetos descritivos acerca de cada tipo de atividade.

As erupções havaianas, essencialmente efusivas, produzem pouco material piroclástico sob a forma de repuxos lávicos e acumulações de *spatter* e aparecem como um extremo da relação F-D (Fig. 17), apresentando baixa fragmentação e pouca dispersão dos piroclastos. Emitem grandes volumes de lavas basálticas que resultam na formação de vulcões em escudo, de lagos de lava e de extensos mantos lávicos (Nunes, 2002; Gill & Fitton, 2010).

O tipo estromboliano (de Stromboli, Itália) é moderadamente explosivo, apenas o suficiente para impulsionar os piroclastos para distâncias superiores a 1 km, mas com um baixo grau de fragmentação (Nunes, 2002; Gill & Fitton, 2010). Nesta atividade, característica de magmas basálticos e andesíticos, ocorre projeção de bombas e piroclastos escoriáceos com trajetória parabólica/balística, formação de cones de escórias e escoadas lávicas associadas (Nunes, 2002; Jain, 2014).

A erupção do tipo vulcaniano (de Vulcano, Itália) apresenta índices elevados de fragmentação, superiores aos anteriores e aos do tipo pliniano, embora uma menor dispersão do que o tipo pliniano. Isto pode ser explicado pela obstrução da cratera e acumulação de pressão, dos gases e do magma, necessária à desobstrução, que causa uma maior fragmentação do material piroclástico (Gill & Fitton, 2010). Forma-se uma coluna eruptiva de 10 a 20 km de altura, resultante de várias explosões, comuns em vulcões poligenéticos (Nunes, 2002).

As erupções plinianas exibem elevada fragmentação e uma maior dispersão dos depósitos piroclásticos, do que nos exemplos anteriores. Também se verifica um aumento da fragmentação, com o crescente aumento da violência da erupção. A sua elevada explosividade deve-se ao fato de serem características de magmas evoluídos, muito viscosos, que possuem maiores teores em voláteis (Gill & Fitton, 2010). Diferem das erupções vulcanianas por gerarem colunas eruptivas que atingem a estratosfera (>15 km de altura) e desencadearem nuvens ardentes, características deste tipo de atividade vulcânica (Nunes, 2002; Gill & Fitton, 2010; Jain, 2014). O seu nome tem origem em Plínio, o Jovem, que descreveu detalhadamente a erupção do Vesúvio em 79 A.D. em cartas a Caio Plínio Segundo, o Velho (Jain, 2014). Numa questão de horas,

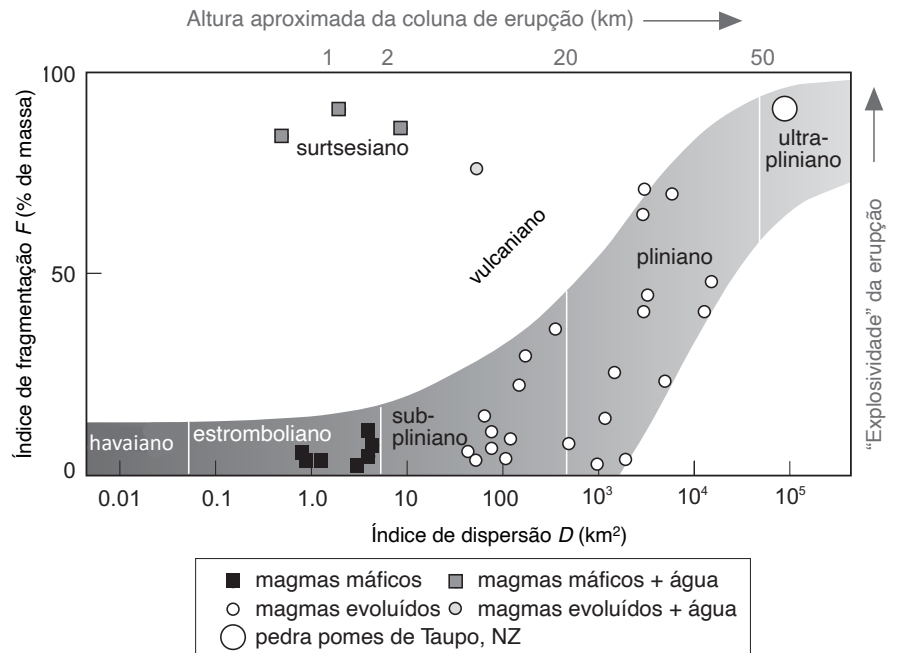


Figura 17 - Mapeamento dos tipos de erupção e dos magmas segundo o índice de dispersão (D) e o índice de fragmentação (F) dos depósitos piroclásticos. Adaptado de Gill & Fitton, 2010.

Pompeia e os seus habitantes ficaram cobertos por uma camada de cinzas e pedra pomes, e assim permaneceriam durante quase 17 séculos. Os relatos de Plínio, o Jovem e as escavações realizadas em Pompeia foram determinantes na reconstrução da sequência de eventos daquele dia e contribuíram para uma melhor compreensão dos processos eruptivos (Lutgens & Tarbuck, 2017).

Walker sugeriu ainda uma categoria “ultrapliniana” para as erupções mais explosivas, o outro extremo da relação F-D, apresentando elevada fragmentação e dispersão dos piroclastos e colunas eruptivas que atingem cerca de 50 km de altura (Nunes, 2002; Gill & Fitton, 2010).

Nas classes referidas até ao momento, a explosividade é atribuída ao teor em voláteis do próprio magma, que sofre vesiculação e expande à medida que ocorre descompressão na sua ascensão até à superfície. No entanto, a explosividade pode ter origem noutra fator, que é o da interação do magma com água externa a este, como é o caso da atividade hidrovulcânica. O conceito de “hidrovulcânica” abrange os estilos eruptivos nos quais há interação com água superficial ou água subterrânea. As erupções surtesianas e as freatomagmáticas resultam da interação entre o magma e a água pouco profunda e em rácios de água/magma baixos, que favorecem a explosividade. Se a proporção de água for superior à de magma a interação vai ser menos explosiva e reverter na formação de lavas em almofada (Gill & Fitton, 2010).

O tipo surtesiano ocorre quando o magma basáltico entra em contacto com água superficial. A água passa imediatamente a vapor, o que leva a várias explosões que projetam bombas e cinzas. Consequentemente, o material piroclástico encontra-se altamente fragmentado, o que coloca este tipo de erupção no topo da relação F-D (Fig. 17) (Gill & Fitton, 2010).

Explosões deste género também ocorrem em ambiente continental, quando um magma estrui num lago, ou quando encontra água subterrânea na sua ascensão até à superfície. No segundo caso, as rochas acima do local de contacto entre o magma e água são destruídas, formando-se uma cratera rodeada por um anel de material ejetado. Muitas destas crateras são preenchidas por água e dão origem a grandes lagos que se denominam *maars*, um termo utilizado para se referir a qualquer cratera que resulte de uma explosão hidrovulcânica. Se as explosões resultarem do contacto entre rochas encaixantes quentes e água subterrânea, sem a presença de magma, são descritas como freáticas, mas se um componente magmático juvenil (ex: tefra basáltica) também estiver presente, este evidencia o contacto entre o magma e água subterrânea como a causa das explosões, que são descritas como freatomagmáticas (Gill & Fitton, 2010).

2.2.7. Vulcanismo secundário ou residual

As rochas dos primeiros 2-4 km da crosta terrestre são geralmente porosas e/ou possuem fissuras. Consequentemente, podem constituir aquíferos preenchidos com

águas subterrâneas resultantes da precipitação (McCall, 2013). A água meteórica infiltra-se nas rochas e migra para zonas mais quentes, próximas de corpos magmáticos, onde é aquecida, expande-se, torna-se menos densa e volta a ascender à superfície através de fissuras (Jain, 2014). A circulação de água perto de corpos magmáticos é a causa das manifestações de atividade hidrotermal, na forma de geiseres, nascentes termais e fumarolas, também conhecida como vulcanismo secundário ou residual (Grotzinger & Jordan, 2014).

Associado à atividade hidrotermal temos, portanto, sistemas hidrotermais que incluem uma área de recarga, uma área de descarga e uma fonte de calor. Quando o calor e os gases provêm de um magma, designa-se sistema hidrotermal magmático (Fischer & Chiodini, 2015).

As nascentes termais ocorrem em áreas onde a água subterrânea é aquecida naturalmente e ascende à superfície. A água subterrânea, mais fria, migra para zonas mais profundas, onde é aquecida por um corpo magmático ou rochas quentes (Jain, 2014). A diferença entre uma nascente termal e um geiser reside no sistema de circulação através do qual a água ascende. No primeiro caso, o sistema não possui restrições e permite o movimento contínuo de água até à superfície. No caso dos geiseres, o sistema através do qual a água ascende possui restrições que impedem um fluxo contínuo (Jones & Renaut, 2011).

Sendo assim, um geiser pode ser definido como uma nascente termal caracterizada por ejeção intermitente de água acompanhada de uma fase gasosa (Bryan, 2018). Os geiseres são acontecimentos raros que requerem três elementos críticos: uma fonte de água, uma fonte de calor e um sistema de circulação de água subterrânea adequado (Fig. 18). Se faltar um destes elementos não se forma um geiser. Por exemplo, se o sistema de circulação não for adequado, forma-se uma nascente termal, cuja ocorrência é mais comum (Jain, 2014). Quando a água quente ascende de grandes profundidades até ao sistema de circulação de um geiser, encontra-se acima do ponto de ebulição e, como tal, parte dela evapora. Simultaneamente, a água mais fria vinda da superfície entra no sistema do geiser e mistura-se com a água aquecida, à medida que o sistema enche. O vapor que se tinha formado contacta com a água mais fria, sofre condensação e aquece a água meteórica até ao ponto de ebulição. Esta água, apesar de estar a uma temperatura superior à de ebulição, encontra-se “estável” devido à pressão exercida pela água acima desta. Quando o geiser estiver quase cheio de água a ferver, as bolhas vão criar uma pressão que impulsiona a água acima até à superfície. A saída da água alivia a pressão no geiser, o que leva ao abaixamento do ponto de ebulição da água, que já estava quente o suficiente para ebulir. A água restante sofre ebulição, originando mais vapor que se expande, e ejeta água rapidamente para o ar. A erupção continua até que se esvazie o reservatório ou a temperatura fique abaixo do ponto de ebulição. Aquando do seu término, o processo de enchimento e aquecimento repete-se (Bryan, 2018).

A magnitude, frequência e duração da erupção dependem do tamanho do reservatório, da taxa de transferência de calor e da taxa a que a água é reabastecida após a erupção. Isto requer rochas que suportem a pressão criada pelo vapor e sejam permeáveis o suficiente para permitir o reabastecimento rápido do reservatório (Jones & Renaut, 2011). Os geiseres são raros porque a natureza dos sistemas de circulação de água necessários à sua existência requer rochas ricas em SiO₂, o riólito (Bryan, 2018), para que se possa formar a geiserite, uma forma de SiO₂ opalina que reveste os sistemas de circulação. A ocorrência do riólito não é comum, mas a maioria dos geiseres encontram-se em grandes áreas riolíticas, como é o caso de Yellowstone (Bryan, 2018).

As fumarolas são aberturas, fendas ou fissuras na crosta terrestre que permitem a libertação de gases vulcânicos (Jain, 2014). O vapor forma-se quando água meteórica é superaquecida e vaporiza, devido à diminuição da pressão que ocorre aquando da sua ascensão no solo (Speight, 2017; Bizzoco & Kelley, 2019), até à superfície por fendas e fissuras (Bizzoco & Kelley, 2019). Dado que a maioria do gás libertado do magma é vapor de água, as fumarolas emitem misturas de vapor de água e outros gases, como o CO₂, o SO₂ e o sulfeto de hidrogénio (Jain, 2014; Speight, 2017). Quando o gás predominante é o CO₂ ou o SO₂, denominam-se mofetas e sulfataras, respetivamente (Huff et al., 2022).

2.2.8. Distribuição global do vulcanismo

Os vulcões não se distribuem ao acaso pela superfície da Terra. O contexto geotectónico tem um papel preponderante na sua distribuição. A maioria dos vulcões encontra-se concentrado em alinhamentos ao longo dos limites de placas tectónicas (Siebert et al., 2015). Os vulcões subaéreos estão normalmente localizados nas proximidades de uma zona de subducção, sendo a subducção de placas a causa da maioria do vulcanismo que observamos, nomeadamente no “Anel de Fogo do Pacífico” (Siebert et al., 2015; Lutgens & Tarbuck, 2017). Por outro lado, a maior parte do vulcanismo não nos é acessível por ocorrer em riftes nas dorsais oceânicas, encontrando-se sub-representadas no registo de erupções do Holocénico, que atribui a maioria das erupções a zonas de subducção. Contudo, nem todos os vulcões se encontram associados a limites de placas, como é o caso do vulcanismo intraplaca associado a pontos quentes. O contexto geotectónico determina a distribuição, comportamento e química dos vulcões, e este permite-nos compreender e classificar o vulcanismo (Siebert et al., 2015).

A associação entre o vulcanismo e as placas litosféricas foi possível após a formulação da “Teoria da Tectónica de Placas”: “A mobilidade das placas tectónicas cria as condições necessárias à fusão parcial das rochas do manto e geração de magma” (Lutgens & Tarbuck, 2017, p. 151).

2.2.8.1. Vulcanismo em limites divergentes

O vulcanismo associado a limites divergentes de placas tectônicas é o mais frequente e o responsável pela extrusão do maior volume de magma, apesar de ser o menos observado pelo ser humano, por ocorrer majoritariamente em meio submarino (Siebert et al., 2015; Lutgens & Tarbuck, 2017). Ao longo de grandes fissuras, que se estendem ao longo de milhares de km das dorsais médio-oceânicas, os riftes, surge novo magma que, ao solidificar, origina novos fundos oceânicos (Fig. 18), em escalas de tempo de centenas de milhões de anos (Grotzinger & Jordan, 2014; Siebert et al., 2015). Embora ocorra principalmente de forma fissural, também se formam edifícios vulcânicos ao longo do próprio rifte (Siebert et al., 2015).

Onde as placas litosféricas se afastam, abaixo do eixo do rifte, ocorre a ascensão de rocha quente, sólida, vinda do manto. Com a ascensão, há uma diminuição da pressão confinante o que provoca fusão por decompressão (Lutgens & Tarbuck, 2017). Desta forma, o magma forma-se por fusão do manto sólido, constituído por rochas ultrabásicas (peridotito), devido à decompressão, e ascende à superfície nos riftes. Por esta razão, o magma é predominantemente basáltico e, como não atravessa crosta continental espessa, é a amostra mais direta do manto terrestre que surge à superfície, para além de ofiólitos (Siebert et al., 2015).

O vulcanismo neste contexto geotectónico é, normalmente, efusivo e constante, quando comparado com o de limites convergentes. No entanto, é altamente variável e capaz de gerar atividade piroclástica em grande escala e circulação hidrotermal que regula quimicamente o oceano e a atmosfera, e fornece energia a ecossistemas dos fundos oceânicos (Siebert et al., 2015). Um exemplo disto é a Islândia onde há proximidade do rifte a um ponto quente e onde 10-12% das rochas extrusivas são riólitos (Gill & Fitton, 2010).

O afastamento de placas tectónicas não está restrito aos oceanos, pois também ocorre em contexto continental onde se manifesta através do estiramento da crosta e, eventualmente, se for o caso, abertura de um novo oceano. Este processo está atualmente a decorrer no Rifte Leste Africano (Siebert et al., 2015). Desta forma, os limites divergentes continentais marcam o início do afastamento entre duas placas tectónicas, enquanto os limites divergentes oceânicos são uma expressão do estado maturo da divergência entre duas placas (Acocella, 2021).

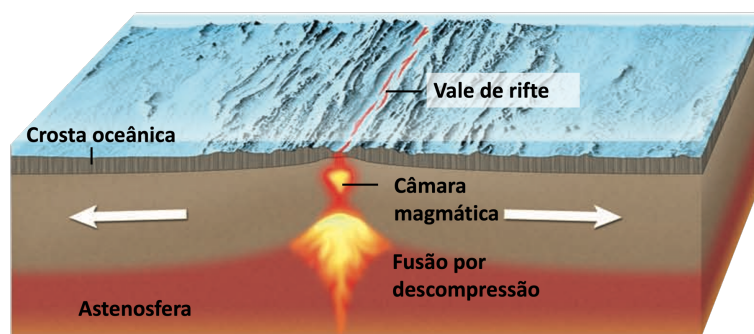


Figura 18 - Limite divergente entre duas placas tectónicas oceânicas, com formação de magma por fusão por decompressão. Adaptado de Lutgens & Tarbuck, 2017.

2.2.8.2. Vulcanismo em limites convergentes

As erupções mais comuns, do ponto de vista observacional do ser humano, são as que ocorrem nos limites convergentes, em vulcões localizados nas zonas de subducção. Por esta mesma razão, são também as mais perigosas (Siebert et al., 2015).

Os limites convergentes entre placas tectônicas surgem pela aproximação de duas placas tectônicas, oceânica-continental ou oceânica-oceânica (Acocella, 2021). Enquanto nas zonas de rifte, ocorre criação de nova litosfera e afastamento das placas tectônicas, sob as fossas oceânicas esta mesma litosfera sofre subducção e retorna ao manto. Paralelamente às fossas oceânicas, formam-se arcos vulcânicos, insulares ou continentais, cuja origem é explicada pela geração de magma nestes contextos tectônicos (Gill & Fitton, 2010). É nas zonas de subducção que ocorre a extrusão dos maiores volumes de andesito, dacito e riólito. No entanto, segundo Gill e Fitton (2010), estima-se que o volume que emerge à superfície é ultrapassado pela proporção de magma que solidifica em profundidade na crosta.

Independentemente da placa não subductada ser oceânica ou continental, há aspetos e características topográficas que as duas conjunturas partilham, uma fossa oceânica, que demarca o limite entre as placas, cadeias de vulcões ao longo da placa que não sofre subducção e uma zona de elevada sismicidade, com focos profundos, designada zona de Benioff, que acompanha, em profundidade, a zona de subducção (Frost & Frost, 2013).

Num contexto de colisão entre uma placa oceânica e uma placa continental (Fig. 19), a placa mais densa, a oceânica, sofre subducção para o manto terrestre, mais quente (Gill & Fitton, 2010; Acocella, 2021). A temperatura e a pressão aumentam e forçam a saída da água, presente nos poros dos sedimentos e na malha dos minerais, para a cunha mantélica localizada acima (Lutgens & Tarbuck, 2017). Esta migração de água para o manto baixa a temperatura de fusão, facilitando assim a fusão de rochas, que não ocorreria de outra forma a estas profundidades, e geração de magma básico, (Gill & Fitton, 2010).

Neste tipo de limites, gera-se uma grande diversidade de magmas, desde basálticos a riolíticos e, conseqüentemente, diferentes expressões destes à superfície. Isto deve-se à origem do magma ser uma mistura única de sedimentos e fluídos que resulta da subducção de placas em profundidade e, ao percurso do magma até atingir a superfície, se for o caso. O magma tem de atravessar a crosta continental,

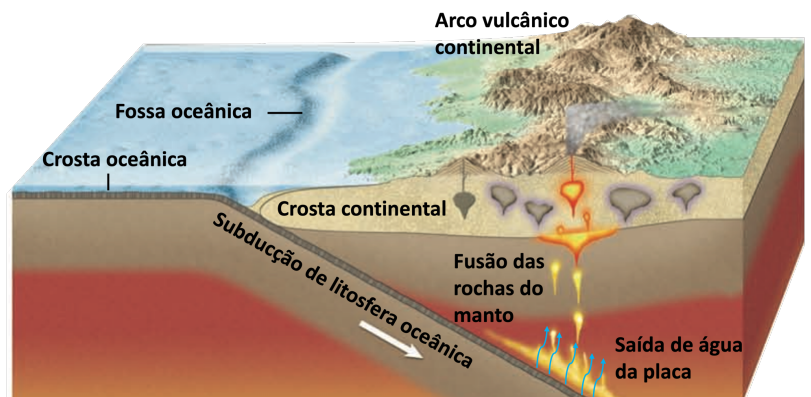


Figura 19 - Limite convergente entre uma placa oceânica (que sofre subducção) e uma placa continental, onde se forma um arco vulcânico continental. Formação de magma por adição de voláteis. Adaptado de Lutgens & Tarbuck, 2017.

que é mais espessa, assimilando componentes desta e resultando em magmas mais evoluídos (Siebert et al., 2015).

O magma formado vai causar a manifestação de vulcanismo ao longo da placa continental, formando-se um alinhamento de vulcões paralelo à fossa oceânica e arcos vulcânicos continentais que se podem estender até 10 000 km. A distância à fossa vai depender do ângulo em que a placa oceânica afunda (Siebert et al., 2015). Este varia e depende da densidade da placa que, por sua vez, depende da sua temperatura e idade. A subducção de litosfera mais jovem e/ou quente resulta num ângulo mais suave. Quanto menor o ângulo, maior a distância do arco vulcânico à fossa (Acocella, 2021).

Em limites convergentes do tipo oceânico-oceânico, a placa oceânica mais densa, a mais antiga, sofre subducção (Gill & Fitton, 2010). Os mecanismos que geram magma neste contexto tectónico são os mesmos do contexto anterior. Neste caso formam-se arcos vulcânicos insulares (e.g. ilhas Marianas), que se denominam arquipélagos caso surjam acima da superfície oceânica. A diferença mais significativa reside na maior espessura da crosta continental e na sua composição de rochas mais ricas em SiO₂, em relação à crosta oceânica (Lutgens & Tarbuck, 2017). É o que acontece com os arcos insulares situados na bordadura oriental dos continentes Asiático e Australiano, como o arco vulcânico de Banda (Dias et al., 2014a).

É importante referir que, no caso de uma colisão entre duas placas continentais, nenhuma das placas sofre subducção e, conseqüentemente, a atividade vulcânica é não existente ou negligente. Neste caso ocorre obducção, enrugamento das placas e formação de cadeias montanhosas ao longo do limite entre as placas tectónicas, como a colisão que originou os Himalaias (Acocella, 2021). Por outro lado, os Andes também são uma cadeia montanhosa formada como consequência da colisão de duas placas tectónicas, mas possuem atividade vulcânica. Isto deve-se ao facto de se associarem a um contacto oceânico-continental, em que a placa oceânica de Nazca sofre subducção em relação à placa continental Sul Americana (Grotzinger & Jordan, 2014).

2.2.8.3. Vulcanismo intraplaca

Embora a maioria da atividade vulcânica se concentre nos limites das placas tectónicas, existem também casos em que esta ocorre longe destes limites, em locais designados por pontos quentes (Smith & Christiansen, 1980). Existem vulcões intraplaca, tanto em contexto oceânico como continental, sendo o primeiro caso responsável pela extrusão de grandes quantidades de lavas basálticas fluidas (Lutgens & Tarbuck, 2017).

A maior parte do vulcanismo intraplaca - pontos quentes - é a manifestação de uma pluma mantélica, uma corrente vertical estreita de material sólido, móvel que se encontra a temperatura superior à do material ao seu redor e que ascende do manto até à superfície (Dias et al., 2014b; Lutgens & Tarbuck, 2017; Acocella, 2021). Como o material mais quente é menos denso do que o encaixante, adquire flutuabilidade. A sua

origem ainda é alvo de debate científico, conquanto se pense que possam ter origem no limite entre o núcleo e o manto (Lutgens & Tarbuck, 2017).

De acordo com a hipótese da pluma mantélica, quando os peridotitos transportados pela pluma se deslocam para menores profundidades, com menores pressões, começam a fundir, produzindo magmas basálticos (Grotzinger & Jordan, 2014). Este magma atravessa a litosfera e emerge à superfície, originando inicialmente planaltos basálticos (Fig. 21B), como o planalto do rio Columbia no noroeste dos EUA (Grotzinger & Jordan, 2014; Siebert et al., 2015).

Como as plumas mantélicas são consideradas independentes do movimento das placas tectônicas, as plumas e os pontos quentes são tidos como estacionários (Acocella, 2021). Por esta razão, a posição atual de um ponto quente pode ser identificada pela presença de um vulcão ativo que se torna inativo à medida que o movimento da placa o afasta da pluma mantélica (Grotzinger & Jordan, 2014). Ao longo do tempo, o movimento das placas tectônicas deixa um alinhamento de vulcões extintos para trás (Fig. 20C e D), cuja idade pode ser inferida pela distância ao ponto quente e o grau de erosão que apresenta (Grotzinger & Jordan, 2014; Siebert et al., 2015).

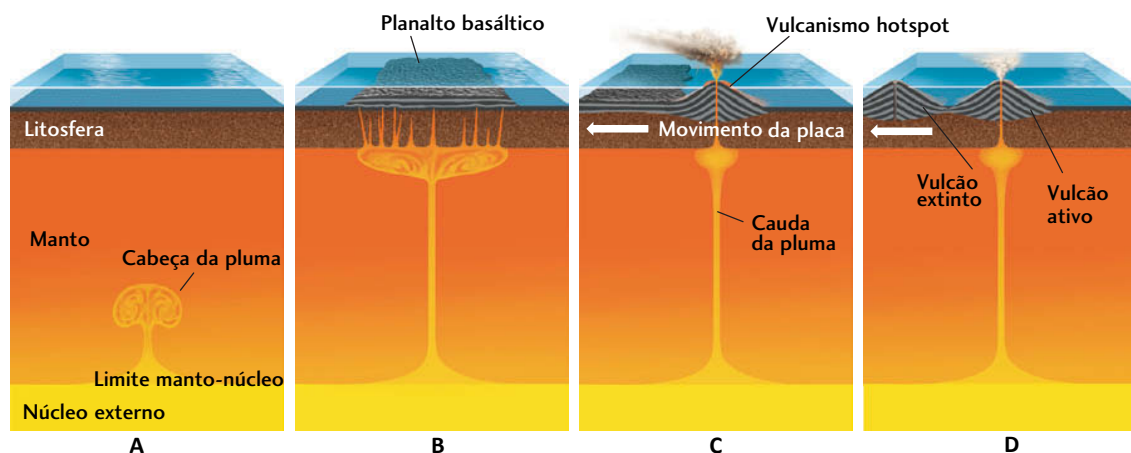


Figura 20 - Formação de um ponto quente. A - ascensão de uma pluma mantélica; B – formação de um planalto basáltico; C - ocorrência de vulcanismo intraplaca; D – movimento da placa tectônica, afastamento do vulcão e formação de um novo vulcão. Adaptado de Grotzinger & Jordan, 2014.

Os pontos quentes podem originar diferentes tipos de atividade conforme se localizem numa placa oceânica ou continental. Um exemplo do primeiro caso é o movimento da placa do Pacífico que originou o arquipélago do Havai. Em contraste, a caldeira de Yellowstone é fruto de um ponto quente continental que ainda se encontra ativo, podendo observar-se manifestações de atividade hidrotermal como geiseres (Grotzinger & Jordan, 2014).

Adicionalmente, embora os pontos quentes sejam mais facilmente identificados quando se encontram afastados dos limites tectônicos, como é o caso de Yellowstone, estes também existem próximos de limites, especialmente divergentes, como é o caso da Islândia e do arquipélago dos Açores, este último numa junção tripla (Acocella, 2021).

2.3. Biologia- Obtenção de matéria pelos seres autotróficos

2.3.1. Autotrofia e seres autotróficos

Desde os primórdios, era aparente que os animais garantiam a sua sobrevivência através da ingestão de plantas ou outros animais, enquanto as plantas subsistiam apenas com a luz solar, água (H₂O) e solo. Em 1771, o filósofo inglês Joseph Pringle demonstrou, através de uma série de experiências, que as plantas libertavam um gás que os animais precisavam para realizar a respiração, o oxigénio (O₂). Por sua vez, em 1845, o físico alemão Julius Mayer sugeriu que as plantas verdes conseguem captar a energia luminosa e armazená-la na forma de energia química. No final do século XIX, já se reconhecia que apenas as partes verdes de uma planta produzem O₂ e que a sua produção requiere luz, dióxido de carbono (CO₂) e H₂O (Fleischman, 2012).

A fotossíntese é o único processo significativo de captação de energia solar na Terra e é a fonte de todo o alimento e grande parte dos recursos energéticos (Taiz et al., 2015; Yahia et al., 2019). Este processo é indispensável à vida na Terra como a conhecemos e, como tal, é preponderante compreendê-lo.

Considera-se que as primeiras bactérias fotossintéticas tenham surgido há 3,4 mil milhões de anos, quando a atmosfera terrestre quase não possuía O₂, e que as primeiras cianobactérias possam ter aparecido há 2,7 mil milhões de anos. Estas novas bactérias tinham acesso a uma fonte de eletrões infinita, a H₂O, devido à sua capacidade de oxidar. Este processo resultava na libertação de O₂ que se acumulou primeiro na H₂O e, eventualmente, na atmosfera, permitindo a formação da camada de ozono e, conseqüentemente, o desenvolvimento de organismos mais complexos, ao protegê-los da radiação ultravioleta (Fleischman, 2012).

Um organismo pode adquirir os compostos orgânicos que utiliza como fonte de energia e carbono de duas formas: nutrição autotrófica (*auto* significa “próprio” e *trophos* significa “alimento”) ou nutrição heterotrófica (*hetero* significa “outro”) (Urry et al., 2020).

As plantas, tal como as algas e alguns procariontes (cianobactérias) e protistas (ex. *Euglena*), são seres autotróficos que sintetizam a sua própria matéria orgânica. Mais especificamente, são seres fotoautotróficos, pois utilizam a luz como fonte de energia para obter matéria orgânica (fotossíntese). Outros seres autotróficos são os seres quimioautotróficos que utilizam a oxidação de compostos inorgânicos como fonte de energia (quimiossíntese) (Urry et al., 2020).

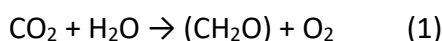
Os seres autotróficos ocupam a base das cadeias alimentares e, conseqüentemente, dos ecossistemas. É através destes que a energia entra nos ecossistemas e é graças a estes que existem organismos que não são capazes de sintetizar matéria orgânica e têm de a obter através do consumo de outros, os seres heterotróficos (Hall, 2014). Desta forma, os seres autotróficos são a fonte dos compostos orgânicos de todos os seres heterotróficos e, por esta razão, denominam-se produtores e ocupam o primeiro nível de todas as cadeias tróficas (Urry et al., 2020).

Este subcapítulo irá focar-se na fotossíntese realizada nas plantas superiores.

2.3.2. Fotossíntese

A fotossíntese é o processo biológico através do qual os seres fotossintéticos convertem a energia luminosa em energia química, na forma de matéria orgânica (glícidos e outras biomoléculas). Para que ocorra, é necessária luz, H₂O e CO₂. A luz e o CO₂ entram na planta ao nível das folhas (estomas), enquanto a H₂O é absorvida do solo pelas raízes e transportada pelos feixes vasculares até às folhas (Urry et al., 2020). A H₂O entra acompanhada de nutrientes, nitrogénio, fósforo e enxofre, presentes no solo, fruto, principalmente da meteorização das rochas (Banwart et al., 2019). Outro elemento necessário à fotossíntese, presente na própria planta, são os pigmentos fotossintéticos.

A palavra fotossíntese significa síntese com recurso à luz, neste caso síntese de matéria orgânica utilizando a luz como fonte de energia (Urry et al., 2020). Este processo pode ser descrito pela equação (1), em que (CH₂O) representa 1/6 de uma molécula de glicose (Taiz et al., 2015).



Como é visível na figura 21, a fotossíntese compreende duas fases: a fase fotoquímica, que depende diretamente da luz, e a fase química que depende indiretamente da luz (Urry et al., 2020).

Ambas as fases ocorrem no cloroplasto ainda que em locais distintos. A fase fotoquímica, que decorre na membrana dos tilacoides, necessita de pigmentos fotossintéticos capazes de captar a luz que, por sua vez, precisam de estar associados a membranas celulares devido à sua porção hidrofóbica. No entanto, em seres procariontes, que não possuem cloroplastos, esta fase ocorre em prolongamentos da membrana celular. A fase química, não tendo estes requerimentos, ocorre no hialoplasma dos seres procariontes e no estroma do cloroplasto dos seres eucariontes (Taiz et al., 2015).

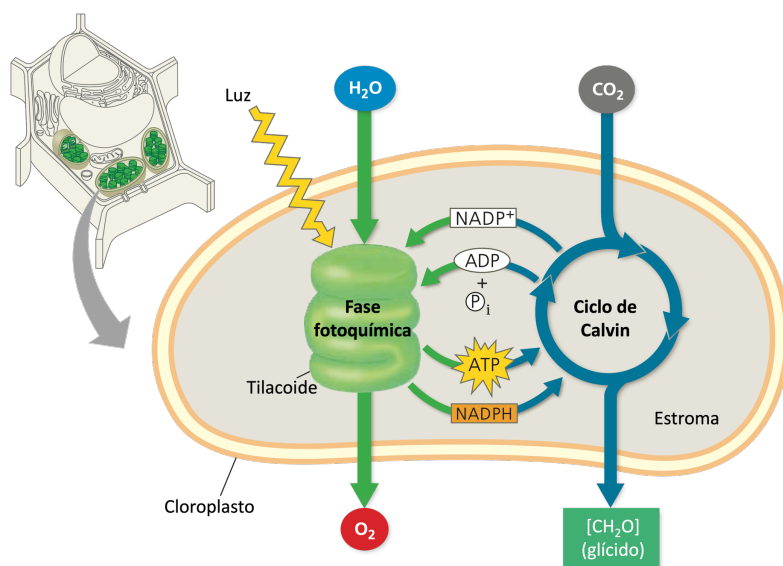


Figura 21 - Visão geral da fotossíntese num cloroplasto: as duas fases e a sua interligação. Adaptado de Urry et al., 2020.

Como o próprio nome sugere, a fase fotoquímica consiste na conversão de energia luminosa em energia química na forma de adenosina-trifosfato (ATP) e de nicotinamida adenina dinucleótido fosfato (NADP), que vão ser utilizados como energia e “poder redutor”, respectivamente, na fase seguinte. Um subproduto desta fase é o O₂ que é libertado para a atmosfera. Na fase química, há transformação de carbono inorgânico (CO₂) em carbono orgânico (glicídios) no ciclo de Calvin-Benson (Urry et al., 2020).

2.3.2.1. Estrutura da folha

Todas as partes verdes de uma planta possuem cloroplastos, mas o principal órgão fotossintético das plantas é a folha (Leegood, 2013). Na maioria das plantas, as folhas são achatadas e apresentam uma grande superfície, o que contribui para a otimização da captação de luz (Moreira, 2014). A folha contém diferentes tipos de células, incluindo os estomas para regular as trocas gasosas através da epiderme e as células do mesófilo foliar, que têm paredes finas e espaços entre elas para facilitar a difusão de gases (Leegood, 2013).

O mesófilo foliar é o tecido localizado entre as duas epidermes da folha (Fig. 22.2, 22.5) que, no caso das dicotiledóneas, é assimétrico. É composto pelo parênquima em paliçada (Fig. 22.3), a camada superior de células alongadas que contém grandes quantidades de cloroplastos, e o parênquima lacunoso (Fig. 22.4), a camada inferior de células esféricas ou ovoides com poucos cloroplastos e lacunas entre elas (Moreira, 2014). A distribuição desigual de cloroplastos nas células dos dois parênquimas permite maximizar a captação de luz na página superior da folha que recebe mais luz (Yahia et al., 2019).

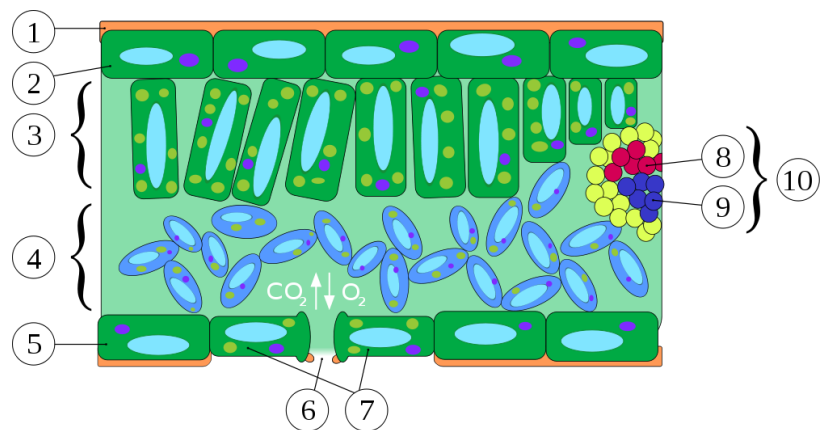


Figura 22 - Esquema de um corte transversal da folha de uma dicotiledónea. 1. Cutícula 2. Epiderme superior 3. Parênquima em paliçada 4. Parênquima lacunoso 5. Epiderme inferior 6. Estoma 7. Células guarda 8. Xilema 9. Floema 10. Feixe condutor. Retirado de Moreira, 2014.

O CO₂ necessário à fotossíntese entra pelos estomas (na epiderme inferior) até ao mesófilo. Na maioria das plantas, os estomas estão abertos durante o dia, permitindo a difusão de CO₂ para o interior da planta (Yahia et al., 2019).

Cada célula do mesófilo tem cerca de 30-40 cloroplastos, organelos presentes nas células eucarióticas vegetais. É nestes organelos que se vai realizar a fotossíntese nas plantas (Urry et al., 2020).

Relativamente à sua estrutura (Fig. 23), possuem duas membranas, externa e interna, sendo que o líquido envolvido pela membrana interna se designa estroma. A membrana interna estende-se para o estroma e forma estruturas com forma de discos achatados, os tilacoides, cujo interior se denomina de lúmen do tilacoide. Um conjunto de tilacoides denomina-se *granum* (plural: *grana*). Os grana estão interligados por uma extensão, a lamela do estroma. A absorção de luz e todas as reações que

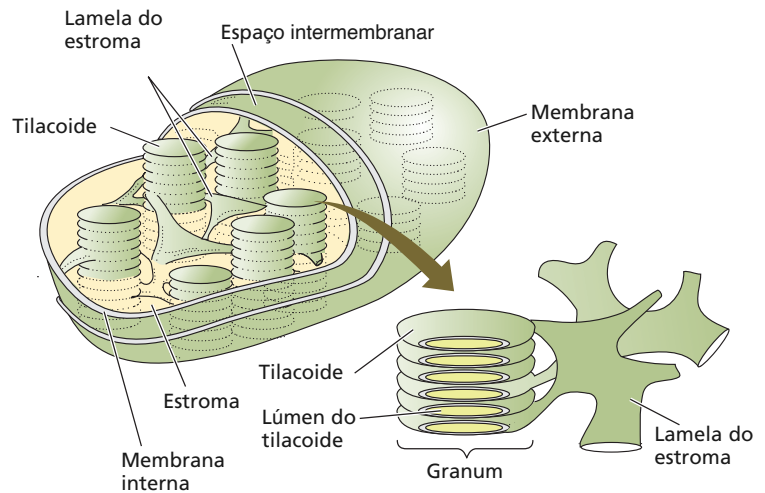


Figura 23 - Esquema da organização do cloroplasto. Adaptado de Taiz et al., 2015.

dependem diretamente da luz ocorrem na membrana dos tilacoides, onde os pigmentos fotossintéticos necessários à captação da luz estão localizados. A energia convertida nestas reações, na forma de ATP e NADPH, é libertada no estroma, onde ocorrem as reações de fixação do CO₂. Posto isto, as plantas precisam de acoplar o funcionamento dos cloroplastos com a entrada de CO₂ através dos estomas para chegar ao estroma. Os estomas utilizam alguma da energia da fotossíntese para controlar a abertura e fecho, permitindo controlar a perda de H₂O por evapotranspiração enquanto favorecem a entrada de CO₂ para as folhas (Yahia et al., 2019; Urry et al., 2020).

Os cloroplastos têm origem em proplastídeos, pequenos organelos não diferenciados. Contudo, os cloroplastos não são o único tipo de plastídeos que existem, também há amiloplastos (sem coloração), cuja função é armazenar grandes quantidades de amido, e cromoplastos (com tons amarelos/vermelhos/castanhos) que sintetizam grandes quantidades de carotenoides e têm função atrativa. Todos os plastídeos podem diferenciar-se a partir de proplastídeos, conquanto também possam derivar uns dos outros em resposta, por exemplo, a fatores ambientais, como luz e temperatura (Rascio, 2013).

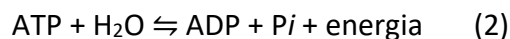
2.3.2.2. ATP e NADPH

O ATP e o NADPH são duas moléculas indispensáveis à realização da fotossíntese e, como tal, é essencial compreender qual os seus papéis nas células.

O ATP é a principal “moeda” de energia utilizada pela célula, porque a sua hidrólise liberta mais energia do que outras moléculas. O ATP é um nucleótido que possui uma pentose, a ribose, uma base nitrogenada, a adenina, e uma cadeia de três grupos fosfato. Estes denominam-se, do mais próximo da pentose para o mais distante,

alfa, beta e gama. O ATP é uma molécula instável devido às cargas negativas na cadeia de grupos fosfato que se repelem (Urry et al., 2020).

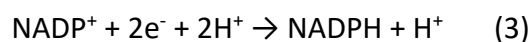
A hidrólise de ATP é a quebra de uma ligação entre os grupos fosfato beta e gama e ocorre segundo a equação (2).



Ao perder um grupo fosfato (Pi), o ATP passa a denominar-se adenosina difosfato (ADP). Esta reação é reversível, sendo necessária energia para a síntese de ATP a partir de ADP e Pi, uma reação endergônica. Ao contrário do que é normalmente referido, as ligações entre os grupos fosfato não são ligações de elevada energia, os reagentes ATP e H₂O é que possuem elevada energia relativamente aos produtos ADP e Pi. A libertação de energia durante a hidrólise de ATP advém da alteração química do sistema para um estado de energia livre inferior, não das ligações fosfato em si (Urry et al., 2020).

O ATP é fundamental em garantir a ocorrência de reações endergônicas, que não são energeticamente favoráveis à célula. As reações exergônicas, como a hidrólise do ATP, que liberta energia, são espontâneas. Isto permite que as células catalisem reações não espontâneas, acoplando-as a reações espontâneas, para que a energia livre libertada por uma possibilite a realização da outra. A reação exergônica é, normalmente, a hidrólise do ATP, em que o grupo fosfato é transferido para outra molécula, o reagente, deixando-o fosforilado e instável e, por isso, propício a reagir. Isto faz com que a reação endergônica ocorra, em que o grupo fosfato é substituído pela molécula a ser adicionada. Como o intermediário fosforilado que se forma é mais reativo do que o composto original, proporciona a ocorrência de duas reações espontâneas (Urry et al., 2020).

A NADP é uma coenzima e transportador de eletrões e hidrogénios que pode existir nas células na sua forma oxidada (NADP⁺) ou reduzida (NADPH) (Fisher & Zhang, 2006). Quando uma outra molécula é oxidada, cede dois átomos de hidrogénio. A forma oxidada, NADP⁺, aceita um ião hidreto (um protão e dois eletrões), sendo que o segundo protão é libertado no meio aquoso, equação (3) (Nelson & Cox, 2013).



2.3.3. Fase fotoquímica

A fase fotoquímica depende diretamente da luz e corresponde à componente “foto” de fotossíntese. Nesta fase, ocorre a conversão de energia luminosa em energia química. A H₂O sofre hidrólise e é separada nos seus constituintes, libertando eletrões, protões (iões de hidrogénio, H⁺) e, também, O₂ como subproduto. A luz absorvida pela clorofila promove a transferência de eletrões e protões da H₂O para um aceitador final, o NADP⁺ que é reduzido em NADPH, onde são armazenados temporariamente. Desta forma, as reações diretamente dependentes da luz utilizam a energia luminosa para

reduzir o NADP⁺ em NADPH ao lhe ceder um par de elétrons e um H⁺. Adicionalmente, também é gerado ATP através de um processo chamado fotofosforilação. Concluindo, a energia luminosa é convertida em energia química na forma de NADPH e ATP. Nesta fase não são produzidos glícidos (Urry et al., 2020).

2.3.3.1. Espectro da luz visível

A luz é uma forma de energia conhecida como energia eletromagnética. Este tipo de energia propaga-se através de ondas, em que o comprimento de onda é definido como a distância entre o topo de cada onda e é medida em nanómetros (nm). A porção da radiação eletromagnética que é visível ao olho humano varia entre 400 e 700 nm e denomina-se espectro da luz visível. É esta radiação que contribui para o processo fotossintético. A luz é constituída por partículas que possuem uma quantidade fixa de energia, os fótons. A quantidade de energia de um fóton é inversamente proporcional ao seu comprimento de onda, quanto menor o comprimento de onda maior a energia de cada fóton (Urry et al., 2020).

O primeiro passo da fotossíntese é a absorção da luz pelos pigmentos fotossintéticos. Como já foi referido, isto ocorre a nível das folhas, mais especificamente dos pigmentos fotossintéticos presentes nos cloroplastos. Cada pigmento fotossintético absorve um intervalo de comprimento de onda da luz visível, o seu espectro de absorção (Yahia et al., 2019), que vai influenciar a cor que estas e, as folhas das plantas em geral, apresentam. Um objeto que não absorva luz na zona do vermelho vai exibir essa cor, pois é esse o comprimento de onda a ser refletido e captado pelo olho humano, da mesma forma que um objeto branco reflete toda a luz que incide nele e, consequentemente, todas as cores (Urry et al., 2020).

2.3.3.2. Pigmentos fotossintéticos

Quando a luz incide sobre matéria pode ser refletida, transmitida ou absorvida. Os pigmentos são moléculas capazes de absorver diferentes comprimentos de onda do espectro da radiação da luz visível (Yahia et al., 2019; Urry et al., 2020). Assim, há uma necessidade de produzir diferentes pigmentos e maximizar a captação de energia luminosa (Urry et al., 2020).

Existem três grandes classes: as clorofilas, os carotenoides e as ficobilinas, mas apenas as clorofilas e os carotenoides estão presentes nas plantas. A sua localização vai depender da organização celular do organismo, se este é procarionte ou eucarionte. No primeiro caso, não existindo sistemas membranares, os pigmentos encontram-se na membrana plasmática, enquanto no segundo caso, estão localizados na membrana dos tilacoides, com exceção das ficobilinas que são solúveis em H₂O e se encontram no estroma do cloroplasto (Taiz et al., 2015).

Nas plantas, o principal pigmento é a clorofila, uma cromoproteína presente em todas as plantas verdes (Taiz et al., 2015; Yahia et al., 2019). As plantas, geralmente, possuem dois tipos, as clorofilas *a* e *b*, mas existem mais dois tipos a clorofila *c*, nas algas castanhas, e a clorofila *d*, nas algas vermelhas. As clorofilas *a* podem ser distinguidas pelo seu pico de absorção do comprimento de onda de luz (nm), por exemplo, a clorofila *a*-680 e a clorofila *a*-700 (Yahia et al., 2019). Na última década, foram identificadas outras duas clorofilas, *d* e *f*, que absorvem comprimentos de onda superiores (Urry et al., 2020). A clorofila *b* e os carotenoides são designados como pigmentos acessórios por transferirem a energia luminosa que absorvem para as clorofilas *a* (Taiz et al., 2015).

Ambas clorofilas *a* e *b* absorvem, preferencialmente, nas zonas do violeta-azul e vermelho, apresentando cor verde como consequência. No entanto, a clorofila *a* é o principal pigmento fotossintético porque é único capaz de transferir um elétron para uma cadeia transportadora de elétrons, na conversão de energia luminosa em energia química. A clorofila *b* atua como um pigmento acessório, a sua absorção de luz é complementar à da clorofila *a*, porque esta consegue absorver mais fótons que a *a* pode capturar (Yahia et al., 2019). A estrutura da clorofila consiste num anel de porfirina, onde ocorre a absorção de luz, e numa cadeia lateral hidrofóbica que permite a sua ancoragem na membrana dos tilacoides (Taiz et al., 2015).

Por outro lado, os carotenoides são pigmentos mais comuns e estão presentes em todos os organismos fotossintéticos (Taiz et al., 2015). Este grupo de pigmentos, que inclui os carotenos e as xantofilas, foi adotado por organismos fotossintéticos para possibilitarem a absorção dos comprimentos de onda da luz visível para os quais as clorofilas *a* e *b* não são eficientes, a zona verde do espectro (Scheer, 2013; Yahia et al., 2019). É, portanto, a sua capacidade de absorver luz na zona do violeta e azul-verde que lhes confere os seus tons amarelos e laranjas, aumentando o espectro da luz que promove a fotossíntese (Urry et al., 2020). Adicionalmente, esta classe de pigmentos tem outra função muito importante, a de proteger a maquinaria fotossintética dos danos causados pela luz (fotoproteção), os carotenoides absorvem e dissipam o excesso de energia, libertando-a na forma de calor (Scheer, 2013; Urry et al., 2020).

Os carotenoides estão na origem da coloração das folhas das árvores de folha caduca no outono. As folhas que se apresentam verdes durante o resto do ano começam a ficar amareladas e alaranjadas nesta estação do ano e que é devido às próprias características da estação, temperaturas mais baixas e menor disponibilidade de luz, que induzem a degradação e absorção da clorofila pela planta, que normalmente existe em quantidades superiores às dos restantes pigmentos. Com o desaparecimento da clorofila são revelados os outros pigmentos fotossintéticos presentes nas folhas, os carotenoides (Urry et al., 2020).

Por último, as ficobilinas são pigmentos presentes em cianobactérias (ficocianinas) e algas vermelhas (ficoeritrinas) e, como são solúveis em H₂O, encontram-se no citoplasma ou no estroma do cloroplasto (Taiz et al., 2015; Urry et al., 2020).

2.3.3.3. Fotossistemas

Os pigmentos fotossintéticos encontram-se organizados em unidades funcionais na membrana dos tilacoides, os fotossistemas (Fig. 24), cuja função é a absorção e transferência de energia luminosa, o que requer a transferência de elétrons. Nas plantas, algas e cianobactérias, existem dois tipos de fotossistema, o I e o II, sendo que, na sequência do processo fotossintético, o II surge primeiro, embora tenha sido descoberto depois do I (Leegood, 2013; Yahia et al., 2019).

Cada fotossistema é essencialmente constituído por dois componentes, os complexos antena ou de captação de luz, de centenas de moléculas de pigmentos, que absorvem fótons e transferem a energia para o segundo componente, o centro de reação (Yahia et al., 2019; Urry et al., 2020). Os pigmentos que integram os complexos antena incluem clorofilas e carotenoides, os pigmentos acessórios (Urry et al., 2020). O centro de reação é o foco do processo fotossintético e consiste numa associação de proteínas com um par de moléculas de clorofila *a* especiais e uma molécula aceitadora de elétrons (Leegood, 2013; Yahia et al., 2019; Urry et al., 2020).

Os centros de reação clorofila *a* dos fotossistemas II e I têm o nome de P680 e P700, respetivamente, devido à sua maior absorção de luz nesses comprimentos de onda (Urry et al., 2020). Estas clorofilas são consideradas especiais por serem capazes de transferir elétrons para a molécula aceitadora de elétrons (Urry et al., 2020). O par de clorofilas *a* P680, quando no estado excitado (P680*) é um forte agente redutor (Yahia et al., 2019).

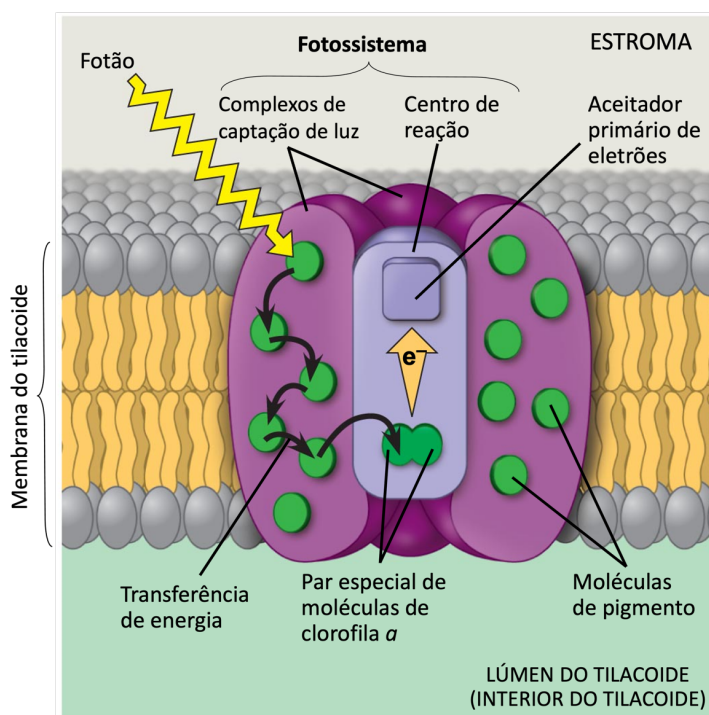


Figura 24 - Estrutura e localização de um fotossistema e captação de luz. Adaptado de Urry et al., 2020.

2.3.3.4. Excitação da clorofila

A luz que incide na folha, e os fótons que a constituem, vão ser absorvidos pelos pigmentos fotossintéticos que se encontram na membrana dos tilacoides. As clorofilas e carotenoides encontram-se associadas em complexos de captação de luz, que servem como antenas que canalizam os fótons para os centros de reação (Fig. 25), contribuindo para a eficiência desta parte do processo (Leegood, 2013). Quando uma molécula absorve um fóton, um dos elétrons dessa molécula passa para uma orbital superior, na qual possui maior energia potencial, diz-se que está num estado excitado. Quando o elétron volta ao estado fundamental, um elétron numa molécula de pigmento vizinha é simultaneamente excitado. Este processo de transferência de energia repete-se até chegar ao par de clorofila α P680, no centro de reação (Urry et al., 2020).

O par de clorofilas α P680, é excitado ($P680^*$) pelos fótons e, se estes tiverem energia suficiente, a clorofila fica num nível de excitação suficientemente elevado e torna-se um forte agente redutor, o que significa que vai perder dois elétrons com facilidade (Taiz et al., 2015; Yahia et al., 2019), para a molécula aceitadora. Esta molécula é reduzida pelos elétrons que recebeu, enquanto o par de clorofilas fica oxidado ($P680^+$) e precisa de repor os elétrons que perdeu. O seu poder oxidativo é de tal ordem que consegue retirar elétrons à H_2O (Leegood, 2013).

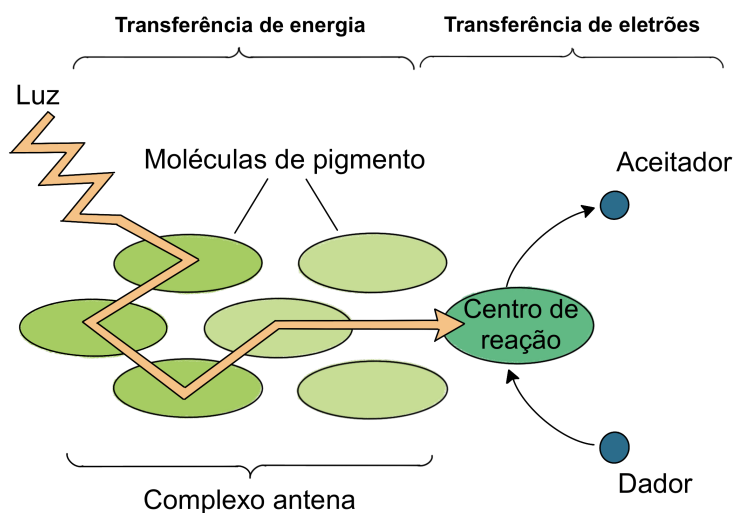


Figura 25 - Transferência de energia entre os pigmentos fotossintéticos de um complexo antena até ao centro de reação e transferência de elétrons entre uma molécula dadora, o centro de reação e uma molécula aceitadora. Adaptado de Taiz et al., 2015.

2.3.3.5. Oxidação da água

A oxidação da H_2O ocorre no lúmen do tilacoide e permite a cedência dos elétrons às clorofilas do fotossistema II. Por cada fóton que P680 absorve pode extrair um elétron da H_2O . Quando tiverem sido extraídos quatro elétrons, através da oxidação de duas moléculas de H_2O , é libertado O_2 para a atmosfera e são libertados $4H^+$ para o lúmen do tilacoide. Este processo também é conhecido como a fotólise da H_2O (Leegood, 2013).

2.3.3.6. Cadeia transportadora de elétrons e síntese de NADPH e ATP

Cada elétron excitado pela luz passa da molécula aceitadora de elétrons do fotossistema II até ao fotossistema I, através de uma cadeia transportadora de elétrons (Fig. 26), um conjunto de proteínas distribuídas ao longo da membrana do tilacoide que tem progressivamente maior afinidade para elétrons (Leegood, 2013; Urry et al., 2020).

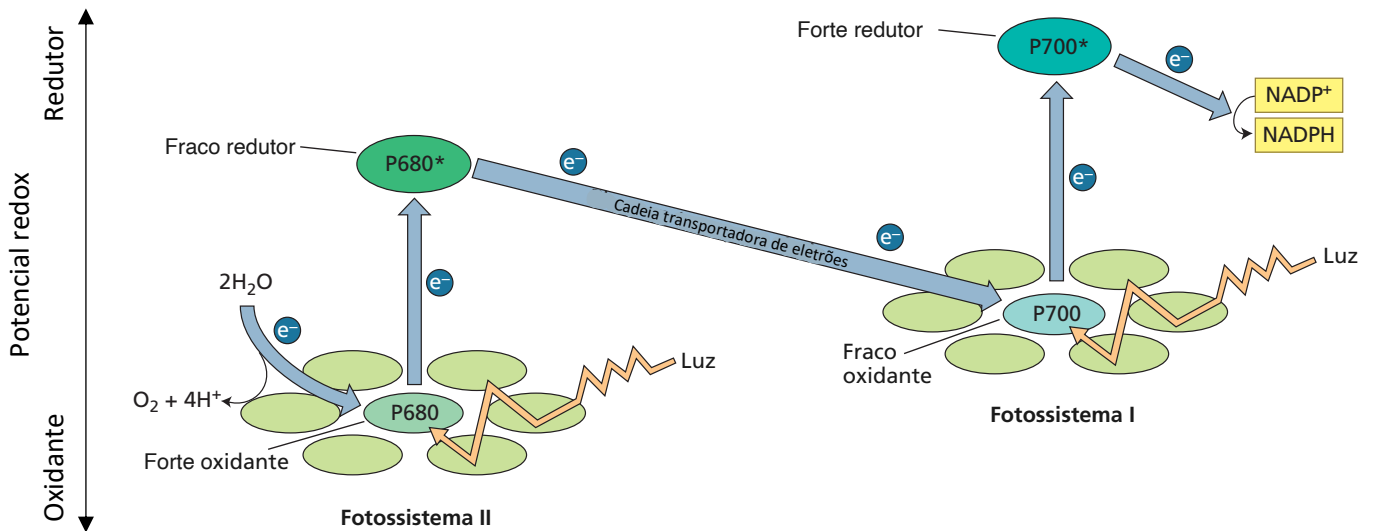


Figura 26 - Esquema Z da fase fotoquímica da fotossíntese. Adaptado de Taiz et al., 2015.

A primeira molécula da cadeia é a plastoquinona (Pq), que transfere os elétrons para um complexo citocromo e, por fim, para a plastocianina (Pc), através de reações redox que libertam energia que é utilizada para transportar protões para o lúmen do tilacoide (Leegood, 2013; Urry et al., 2020). A Pq tem capacidade de transportar elétrons e protões. Os elétrons vindos do fotossistema II, em conjunto com protões vindos do estroma, reduzem a Pq que, ao sofrer oxidação, cede os elétrons ao complexo citocromo e liberta os protões no lúmen do tilacoide (Fig. 27). Estes protões, em conjunto com os que são libertados pela oxidação da H₂O, baixam o pH do lúmen e criam um gradiente de protões que é utilizado para a síntese de ATP, a fotofosforilação (Leegood, 2013).

Também na membrana do tilacoide se encontra a proteína ATP sintase, que vai usar a energia do gradiente de protões para sintetizar ATP. Por cada 4H⁺ que passam do lúmen para estroma, a favor do gradiente de concentração, através da ATP sintase, uma molécula de ATP é sintetizada a partir de ADP e Pi (Leegood, 2013).

Simultaneamente, os elétrons do par de clorofilas *a* P700 do fotossistema I também são excitados pelos fotões, de forma semelhante ao que ocorre no fotossistema II. O elétron excitado é passado à molécula aceitadora do fotossistema I, deixando P700 oxidada (P700⁺) que pode aceitar os elétrons vindos do fotossistema II através da cadeia transportadora de elétrons. Os elétrons excitados são transferidos ao longo de uma segunda cadeia transportadora de elétrons através da proteína ferredoxina (Fd). Esta

cadeia não produz um gradiente de prótons e, conseqüentemente, não gera ATP (Urry et al., 2020).

No final da segunda cadeia de elétrons, estes são transferidos para o aceitador final, o NADP^+ , numa reação catalizada pela enzima NADP^+ redutase. Para que ocorra redução do NADP^+ em NADPH , são necessários dois elétrons e um próton. Os elétrons no NADPH encontram-se num nível energético superior ao que se encontravam na H_2O . O NADPH , tal como o ATP , forma-se no estroma, local onde vai ocorrer a fase química que utiliza estes dois compostos (Urry et al., 2020).

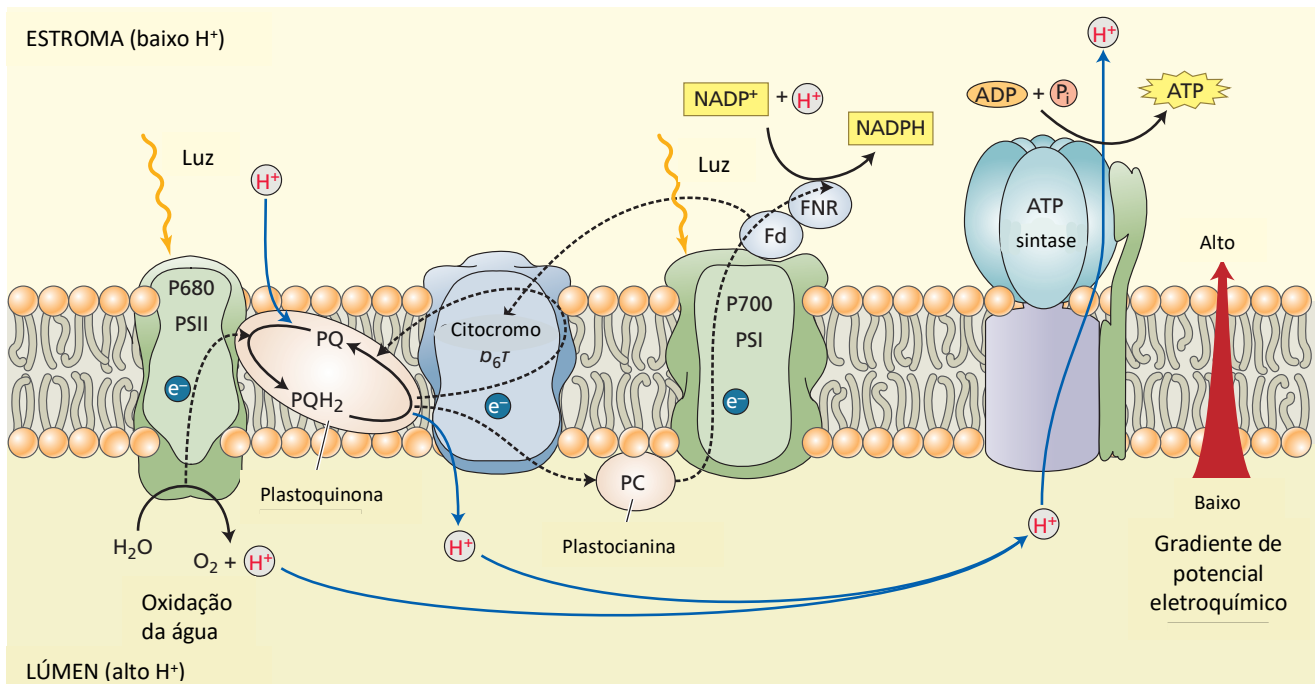


Figura 27 - Organização dos fotossistemas e proteínas e a transferência de elétrons (linhas tracejadas) e de prótons (linhas sólidas) ao longo da membrana dos tilacoides. Adaptado de Taiz et al., 2015.

Em certos casos, os elétrons assumem um percurso diferente do explicado anteriormente, envolvendo apenas um fotossistema (Fig. 28). Os elétrons no fotossistema I são transferidos do par de clorofilas a P700 para a molécula aceitadora, Fd. No entanto, em vez de serem transferidos para o NADP^+ , passam para o complexo citocromo, para a Pc e retornam às clorofilas P700 no fotossistema I (Urry et al., 2020). Durante a cadeia transportadora de elétrons há ejeção de H^+ do estroma para o lúmen do tilacoide, gerando um gradiente de prótons que pode ser utilizado para síntese de ATP (Yahia, 2019). Esta via não produz NADPH e O_2 . Devido ao percurso cíclico dos elétrons e ao seu potencial para síntese de ATP , esta via denomina-se fotofosforilação cíclica (Urry et al., 2020).

Esta é a única forma que as bactérias fotossintéticas atuais possuem de produzir ATP através da fotossíntese, dado que só possuem um dos fotossistemas. Não obstante, a fotofosforilação cíclica também pode ocorrer em organismos nos quais os dois fotossistemas estão presentes, como forma de equilibrar as proporções de ATP/NADPH

necessárias ao ciclo de Calvin ou apresentando um papel fotoprotetor em circunstâncias de grande disponibilidade de luz e baixas concentrações de CO₂, evitando a acumulação de O₂ e a ocorrência de fotorrespiração (Urry et al., 2020).

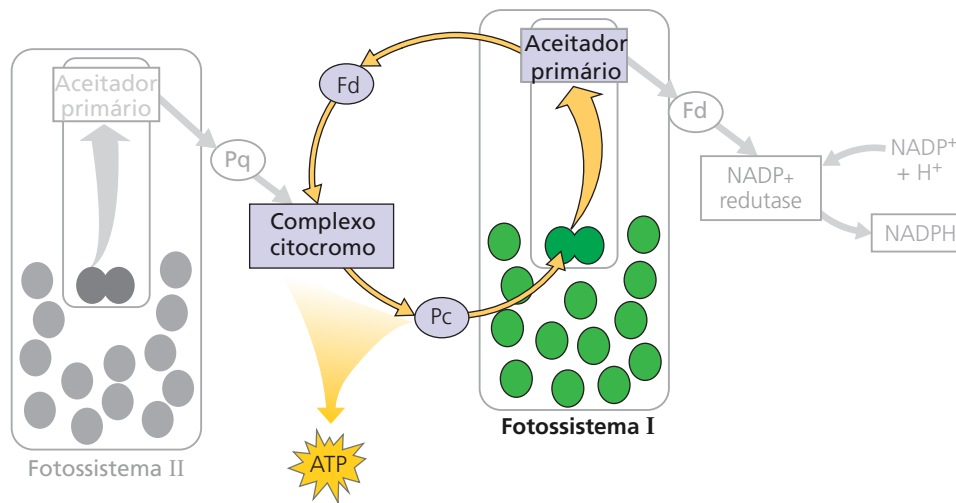
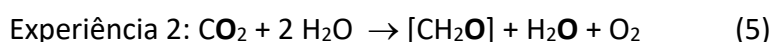
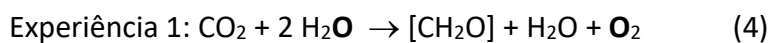


Figura 28 - Fotofosforilação cíclica (a cores) e fotofosforilação não cíclica (a cinzento). Adaptado de Urry et al., 2020.

2.3.3.7. A origem do oxigênio molecular

Até ao início do séc. XX, pensava-se que o O₂ libertado pela fotossíntese resultava da hidrólise do CO₂ e junção deste com H₂O. Esta hipótese foi posta em causa nos anos 1930 por Cornelis Bernardus van Niel que, ao investigar a fotossíntese em bactérias capazes de sintetizar glícidos partir de CO₂ sem libertar O₂, constatou que estas bactérias usavam sulfureto de hidrogénio (H₂S), em vez de H₂O na fotossíntese. O investigador propôs que todos os organismos fotossintéticos necessitam de uma fonte de hidrogénio e que essa fonte varia conforme o organismo. No caso das plantas, estas usam a H₂O como fonte de eletrões, dos átomos de hidrogénios, e libertam O₂ como consequência. A hipótese de Van Niel foi confirmada quase 20 anos depois, quando Ruben e Kamen usaram o isótopo ¹⁸O, para acompanhar o percurso dos átomos de oxigénio durante a fotossíntese. As experiências demonstraram que as algas só produziam O₂ marcado com ¹⁸O se a H₂O fosse a fonte do isótopo. Se o CO₂ fosse a fonte do isótopo, este não aparecia no O₂ libertado (experiência 2) (Urry et al., 2020). As experiências de Ruben e Kamen estão representadas nas equações (4) e (5), em que o O₂ a negrito, representa a presença do isótopo ¹⁸O.



2.3.4. Fase química: Ciclo de Calvin

Um dos requisitos para a manutenção da vida é a fixação de CO_2 atmosférico nos esqueletos de compostos orgânicos, que são compatíveis com as necessidades da célula (Taiz et al., 2015). O ATP e o NADPH, formados na fase fotoquímica, são utilizados nos processos de biossíntese que ocorrem no estroma do cloroplasto e convertem CO_2 em gliceraldeído-3-fosfato (G3P) (Leegood, 2013; Yahia et al., 2019). Embora esta fase não dependa diretamente da luz, como a anterior, esta só pode ocorrer na presença de luz, pois necessita de ATP e NADPH, que se formam na fase fotoquímica, e porque muitas das enzimas necessárias à fase química são ativadas pela luz (Leegood, 2013).

O ciclo de Calvin (Fig. 29) compreende três fases: (1) Fixação do CO_2 ; (2) Redução do 3-fosfoglicerato e (3) Regeneração da ribulose bifosfato (RuBP). Vamos considerar a entrada de 3 moléculas de CO_2 no ciclo.

Na primeira fase, o CO_2 é incorporado, uma molécula de cada vez, em moléculas orgânicas já existentes no cloroplasto (Urry et al., 2020). Mais concretamente, o carbono é adicionado a uma molécula de 5 carbonos, a RuBP, numa reação catalisada pela enzima ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) (Yahia et al., 2019; Urry et al., 2020). Tal reação origina uma molécula de 6 carbonos que é energeticamente instável e se divide em duas moléculas de 3 carbonos, 3-fosfoglicerato (PGA) (Urry et al., 2020). Isto significa que o que acontece daqui para frente, acontece a dobrar.

Na segunda fase, cada molécula de PGA é fosforilada, recebendo um grupo fosfato do ATP, que resulta na formação de 1,3-bifosfoglicerato (1,3-BPGA) que, por sua vez, é reduzido em gliceraldeído-3-fosfato (G3P) pelo NADPH, perdendo um grupo fosfato no processo. Ou seja, os elétrons do NADPH reduzem um grupo carboxilo do 1,3-BPGA num grupo aldeído de G3P, que armazena uma maior energia potencial. Formam-se assim 6 moléculas de G3P (3 por cada molécula de PGA), uma delas abandona o ciclo enquanto as outras 5 continuam para regenerar RuBP. Estas quantidades são válidas para a fixação de 3 moléculas de CO_2 (Urry et al., 2020).

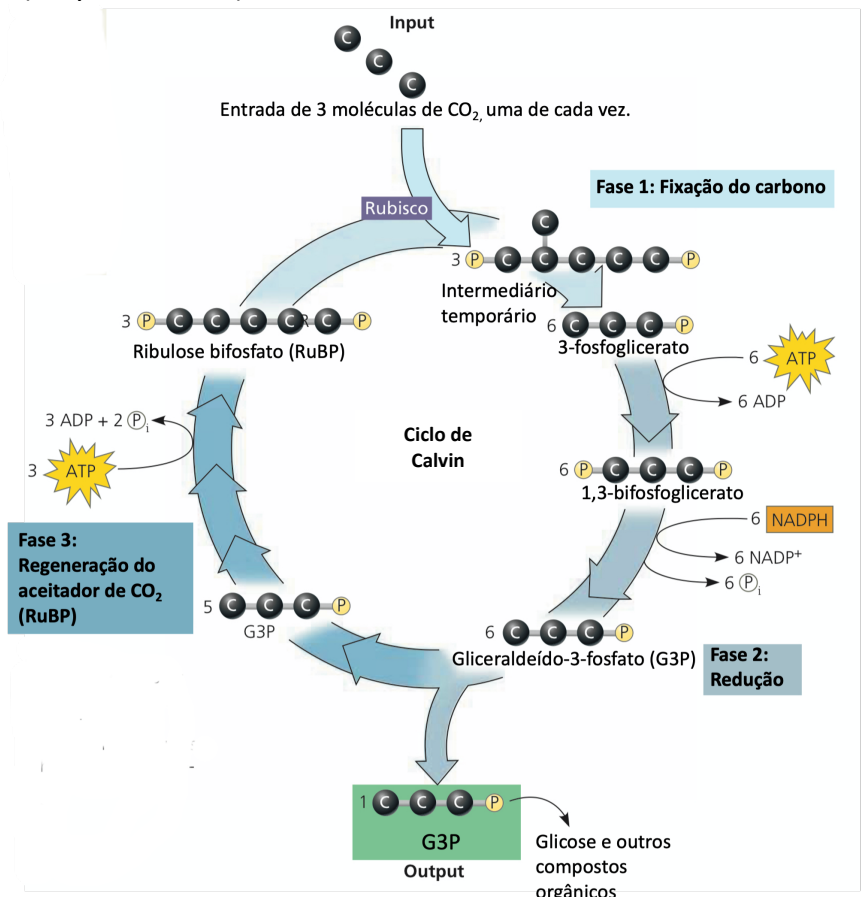


Figura 29 - Ciclo de Calvin. Adaptado de Urry et al., 2020.

Por cada 3 moléculas de CO₂ fixadas são produzidas 6 de G3P. O ciclo iniciou-se com 15 átomos de carbono na forma de 3 moléculas da pentose RuBP e, após a fixação de 3 CO₂, existem 18 carbonos na forma de 6 G3P. No entanto, apenas uma conta como um ganho, pois as outras 5 (totalizando os 15 carbonos iniciais) sofrem um rearranjo para regenerar as 3 moléculas de RuBP, com auxílio da energia de 3 ATP. Desta forma, o ciclo pode ocorrer outra vez e produzir uma nova molécula de G3P (Urry et al., 2020).

Em resumo, para sintetizar uma molécula de G3P (3 voltas), o ciclo de Calvin consome 3 CO₂, que se combinam com 3 RuBP; 9 ATP, 6 durante a redução de 6 moléculas de PGA e 3 na regeneração de RuBP e 6 NADPH durante a redução (Urry et al., 2020).

Para sintetizar um glícido, como a glicose, são necessárias duas moléculas de G3P, ou seja, a fixação de 6 moléculas de carbono. Diz-se, portanto, que são necessárias 6 voltas do ciclo de Calvin para se poder sintetizar uma molécula de glicose. Como uma molécula de G3P tem 3 carbonos fixados e são necessárias 2 moléculas de G3P para sintetizar uma molécula de glicose (6 carbonos), são necessárias 6 voltas do ciclo de Calvin, logo, são necessários 6 CO₂, 18 ATP e 12 NADPH. O ATP e o NADPH têm origem na fase fotoquímica da fotossíntese, enquanto o CO₂ entra pelos estomas localizados nas folhas (Urry et al., 2020).

2.3.4.1. Produtos do ciclo de Calvin

O carbono pode abandonar o ciclo de Calvin na forma de trioses fosfato, G3P ou dihidroxiacetona-P (DHAP), e frutose-6-P. As trioses fosfato são utilizadas para a síntese de outros compostos orgânicos, incluindo glicose (a partir de duas moléculas de G3P), sacarose e outros glícidos. Os dois principais produtos da fotossíntese, o amido (polímero de glicose) e a sacarose, são sintetizados no cloroplasto e no citosol, respetivamente (Paul, 2013; Raghavendra et al., 2017; Urry et al., 2020).

A sacarose é o principal produto estável da assimilação de carbono nas folhas. Esta molécula é um dissacarídeo composto por uma molécula de glicose ligada a uma de frutose, por uma ligação glicosídica, e é na forma de sacarose que a maioria das espécies de plantas transportam o carbono orgânico dos locais onde foi sintetizado para locais de consumo ou armazenamento (Everard & Loescher, 2017).

O amido produzido nos cloroplastos denomina-se amido transitório dado que armazena temporariamente até 50% dos produtos fotossintéticos gerados durante o dia e é degradado à noite para sustentar a respiração celular e outros processos metabólicos (Patterson et al., 2017).

Adicionalmente, alguns dos intermediários do ciclo de Calvin também são utilizados para a síntese de aminoácidos, lípidos e outras biomoléculas (Raghavendra et al., 2017).

2.3.4.2. Destino do carbono absorvido

O trabalho realizado por Andrew Benson, Melvin Calvin e Al Bassham, entre 1947 e 1954, permitiu a identificação dos compostos da fase química da fotossíntese e a compreensão do funcionamento do ciclo de Calvin que possuímos atualmente (Sharkey, 2018). Pelo seu trabalho, Calvin recebeu o prémio Nobel de Química em 1961 (Taiz et al., 2015).

Segundo Calvin (1961), os cientistas já sabiam que o CO₂ que entrava na planta surgia em todos os seus tecidos, mas principalmente e primeiramente em glúcidos. O seu objetivo era encurtar o tempo do ciclo ao ponto de conseguir discernir o percurso do carbono desde CO₂ a glícido. O organismo fotossintético escolhido foi a alga verde unicelular do género *Chlorella*.

Inicialmente, uma suspensão de algas *Chlorella* foi exposta a condições constantes de luz e CO₂ e, de seguida, foi injetado CO₂ marcado radioativamente (¹⁴CO₂). No final de cada intervalo temporal definido (desde frações de segundo a alguns minutos), as algas foram retiradas e mortas em álcool aquecido com o intuito de parar as reações enzimáticas e começar a extração dos materiais para análise (Calvin, 1961; Taiz et al., 2015).

Por fim, através de cromatografia em duas direções, separaram e identificaram os compostos marcados com ¹⁴C pela sua posição nos cromatogramas de papel bidimensionais (Benson, 2002; Taiz et al., 2015). Na separação por cromatografia o coeficiente de partição é único para cada substância e solvente. Os cromatogramas obtidos foram sobrepostos contra papel fotográfico no escuro. A radiação dos compostos marcados criou manchas escuras no papel – autorradiografias (Fig. 31) (Benson, 2002).

Através da comparação dos diferentes tempos, em que os compostos do ciclo de Calvin se formam, foi possível determinar a ordem em que são sintetizados (Benson, 2002). Com exposições muito curtas, o produto que predominava era 3-PGA, o que permitiu a identificação deste como o primeiro produto estável do ciclo de Calvin (Sharkey, 2018). Desta forma, identificaram-se outros glúcidos em que ^{14}C surgia e, como os primeiros compostos que surgiam na cromatografia (Fig. 30A) eram trioses fosfato e hexoses fosfato, foi sugerida a sucessão de 3-PGA para hexose (Calvin, 1961; Taiz et al., 2015).

Considerando que o primeiro intermediário que se formava era 3-PGA, pensava-se que a molécula aceitadora do CO_2 seria de dois carbonos. No entanto, Calvin propôs a existência de um intermediário de 6 carbonos que se dividia em dois 3-PGA, o que veio a ser demonstrado 30 anos depois (Sharkey, 2018). Por fim, a descoberta da participação de pentoses monofosfatadas e pentoses bifosfatadas no ciclo levantou a hipótese de que o aceitador de CO_2 seria um composto de 5 carbonos (Taiz et al., 2015).

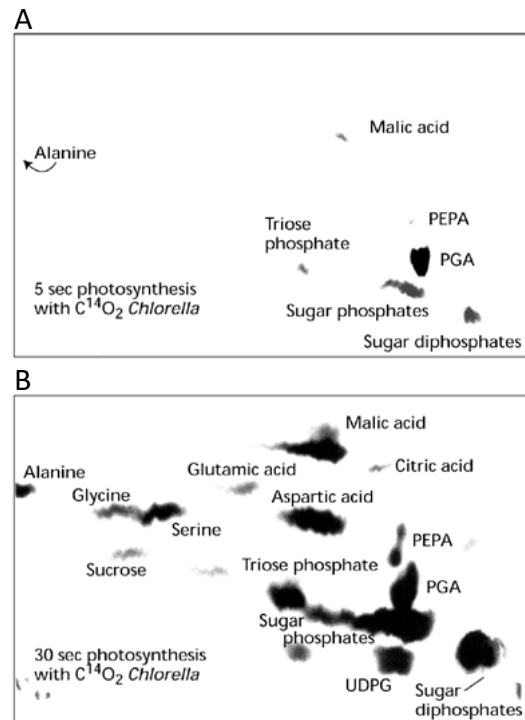


Figura 30 - Autoradiografias com a identificação dos compostos de carbono produzidos pela alga *Chlorella* no ciclo de Calvin, após exposição a $^{14}\text{CO}_2$ durante 5 segundos (A) e 30 segundos (B). Adaptado de Taiz et al., 2015.

2.3.5. Adaptações a climas quentes e áridos

2.3.5.1. Fotorrespiração e adaptações

Na maioria da flora mundial, a fotossíntese ocorre com recurso a uma via metabólica conhecida como C_3 , porque o primeiro produto estável, que resulta da fixação do carbono pela Rubisco, é um composto orgânico de 3 carbonos (3-PGA) (Yahia et al., 2019). Porém, a Rubisco também catalisa outra reação com o O_2 , a oxigenação. O que determina se ocorre oxigenação ou carboxilação da RuBP são as concentrações relativas de CO_2 e O_2 na folha (Leegood, 2013).

A fotorrespiração, também conhecida como fotossíntese C_2 , é o processo através do qual a Rubisco usa o O_2 molecular como substrato, resultando na produção de uma molécula de 3-fosfoglicerato e uma de 2-fosfoglicolato, com libertação de CO_2 . Por outro lado, quando o substrato é o CO_2 , formam-se duas moléculas de 3-fosfoglicerato (Yahia, 2019). O 2-fosfoglicolato, não sendo um metabolito do ciclo de Calvin, tem de ser convertido em 3-fosfoglicerato e só depois é que pode retornar ao cloroplasto e entrar no ciclo de Calvin (Leegood, 2013). Este processo requer o transporte dos metabolitos entre vários organelos celulares onde ocorrem as reações, o que afeta as suas funções normais. Adicionalmente, a fotorrespiração “perde” uma molécula de RuBP e parte do ATP gerado pelos fotossistemas para o ciclo de Calvin e liberta CO_2 e amónia, sendo que este último é um composto tóxico, cuja reciclagem consome grandes quantidades de energia celular (Leegood, 2013; Moreira, 2013; Yahia, 2019). Isto resulta na perda de 25% do carbono na forma de CO_2 (Leegood, 2013; Moreira, 2013), ou seja, a fotorrespiração é um processo inútil, pois reduz o ganho de carbono e dissipa a energia fotossintética (Yahia et al., 2019). Este processo ocorre quando, não havendo CO_2 suficiente, o O_2 entra no ciclo de Calvin. Como tal, algumas condições ambientais, como temperaturas internas elevadas ou baixa concentração de CO_2 em relação aos níveis elevados de O_2 acumulado no estroma, podem promover este processo (Yahia et al., 2019).

Para as plantas C_3 , que são a maioria, a fotorrespiração é um processo contraprodutivo, levantando a questão de como se justifica a sua existência. Uma hipótese propõe que este processo seja uma “herança” de uma época em que a atmosfera possuía menos O_2 e mais CO_2 do que atualmente. A fotossíntese é anterior ao aumento da quantidade de O_2 na atmosfera, quando a afinidade da Rubisco para o O_2 não era um problema (Urry et al., 2020).

Desde que colonizaram o ambiente terrestre há 475 milhões de anos atrás, que as plantas tiveram de desenvolver adaptações, particularmente à perda de H_2O . O equilíbrio entre a fotossíntese e a perda excessiva de H_2O é um dos desafios que as plantas enfrentam em condições de temperatura elevada (Urry et al., 2020). As plantas obtêm CO_2 através da abertura dos seus estomas nas folhas, o que sugere que a única altura em que não entra CO_2 é quando os estomas estão fechados. Estes fecham quando as temperaturas são muito elevadas como forma de mitigar a perda de H_2O por

evapotranspiração, mas com os estomas fechados não há entrada de CO_2 , o que resulta na realização da fotorrespiração, o que pode ser agravado por elevados níveis de irradiação que contribui para a acumulação de O_2 da fase fotoquímica (Yahia et al. 2019). As plantas C_3 têm várias formas de lidar com a fotorrespiração, podendo recorrer à fotofosforilação cíclica o que permite diminuir a quantidade de O_2 que se acumula nos tecidos ou fixar o CO_2 resultante deste processo, se a sua concentração for elevada o suficiente (Urry et al., 2020).

As plantas que vivem em ambientes muito quentes evoluíram e ultrapassaram estas limitações através da adoção de estratégias para aumentar a concentração de CO_2 próxima da Rubisco, como a via C_4 de fixação de carbono e o metabolismo do ácido das crassuláceas (Crassulacean Acid Metabolism, CAM) (Yahia et al., 2019).

Nas plantas C_4 , por exemplo o milho, a fotossíntese inicia-se nas células do mesófilo e continua nas células da bainha perivascular, que se encontram dispostas à volta dos tecidos vasculares (Fig. 31) (Leegood, 2013; Urry et al., 2020). Nas células do mesófilo ocorre a fixação do CO_2 , que é incorporado numa molécula de fosfoenolpiruvato (PEP) originando oxaloacetato (C_4) que, por sua vez, é transferido para células da bainha perivascular onde existe Rubisco e outras enzimas do ciclo de Calvin. Os compostos orgânicos são descarboxilados nas células da bainha perivascular para aumentar a concentração de CO_2 , saturar a Rubisco e suprimir a fotorrespiração (Leegood, 2013; Urry et al., 2020). O piruvato que se forma, como consequência da descarboxilação do oxaloacetato, retorna às células do mesófilo onde é transformado em PEP com gasto de ATP (Urry et al., 2020).

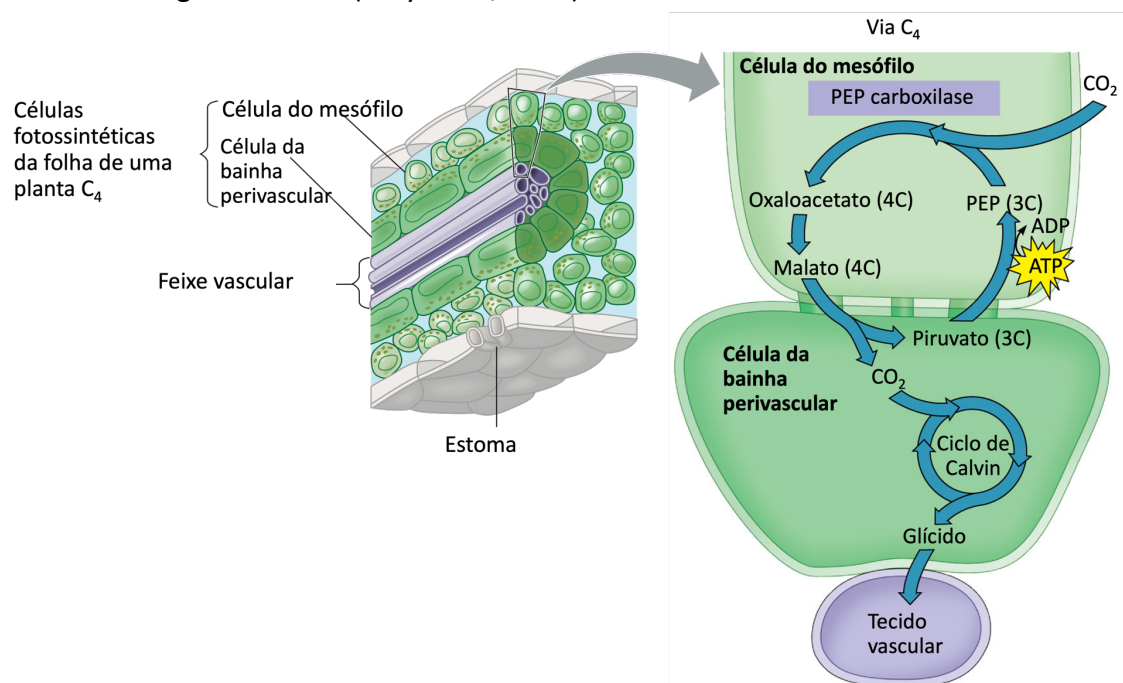


Figura 31 - Anatomia de uma folha de uma planta C_4 e via C_4 . Adaptado de Urry et al., 2020.

Por outro lado, as plantas CAM, por exemplo os cactos, só abrem os estomas à noite, quando a temperatura é mais baixa (Yahia et al., 2019). O fecho dos estomas durante o dia permite-lhes conservar H_2O , mas também impede a entrada de CO_2 .

Durante a noite, as plantas captam CO_2 e incorporam-no em ácidos orgânicos que armazenam nos vacúolos das células do mesófilo. Durante o dia, ocorre a fase fotoquímica que fornece ATP e NADPH para o ciclo de Calvin, permitindo que as plantas retirem o CO_2 , fixado nos ácidos orgânicos na noite anterior, e sintetizem matéria orgânica (Yahia et al., 2019; Urry et al., 2020).

Em suma, no caso das plantas C_4 há uma separação espacial entre a fixação do carbono e o ciclo de Calvin, enquanto nas plantas CAM há uma separação temporal (Fig. 32) (Urry et al., 2020).

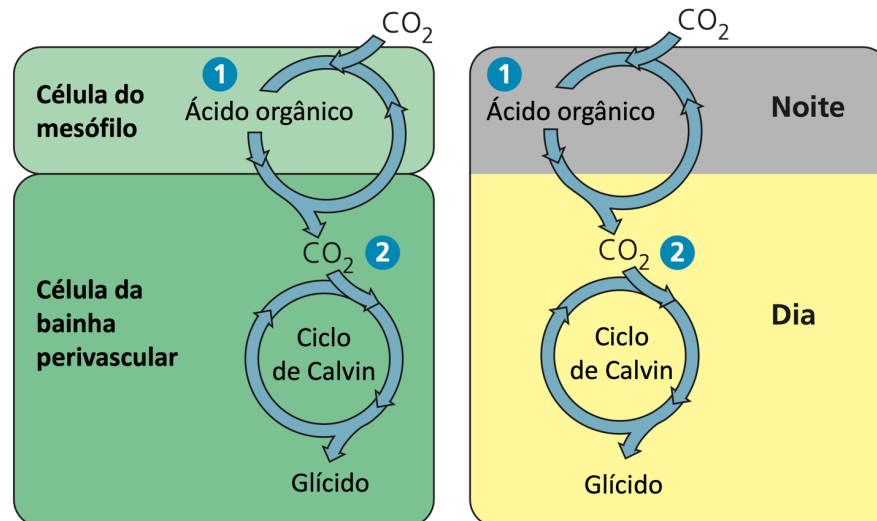


Figura 32 - Comparação das vias C_4 e CAM, duas adaptações evolutivas a climas quentes e áridos. 1. Incorporação preliminar de CO_2 em ácidos orgânicos. 2. Transferência do CO_2 para o ciclo de Calvin. Adaptado de Urry et al., 2020.

Eventualmente, as plantas C_3 , C_4 e CAM utilizam o ciclo de Calvin para produzir glícidos. As plantas C_3 fecham os estomas para evitar perdas de água em dias muito quentes, diminuindo a sua condutância estomática e induzindo a fotorrespiração. Podem recorrer à fotofosforilação cíclica como forma de evitar a fotorrespiração ou fixar o CO_2 libertado da fotorrespiração, após grandes perdas energéticas (Urry et al., 2020).

As plantas C_4 gastam energia para minimizar a fotorrespiração e aumentar a produção de glícidos. Embora esta via seja mais custosa energeticamente para a planta, o isolamento da Rubisco do O_2 atmosférico, a sua saturação com CO_2 e a maior afinidade da PEP carboxilase para o CO_2 tornam o processo mais eficiente para as plantas C_4 , sendo que estas crescem mais rapidamente e produzem mais biomassa por folha (Yahia et al., 2019; Urry et al., 2020). Adicionalmente, são capazes de tolerar elevadas temperaturas e níveis de irradiação (Yahia et al., 2019).

As plantas CAM evoluíram para evitar perdas de H_2O e possuem tecidos suculentos para a armazenar. A separação temporal da fixação de CO_2 e do ciclo de Calvin, para além de acarretar o mesmo elevado custo energético das plantas C_4 , leva a que estas tenham um crescimento mais lento que as plantas C_3 . Contudo, é esta adaptação fotossintética que lhes possibilita sobreviver nas condições severas e limitantes de aridez. Outra vantagem que este tipo de planta apresenta é que, ao contrário das plantas C_4 , não requerem nenhuma especialização anatômica ou

funcional, o que possibilita que algumas plantas sejam CAM facultativas e oscilem entre a via C_3 e o CAM, conforme a disponibilidade de H_2O (Yahia et al., 2019).

2.3.5.2. Floresta do Tapajós na Amazônia e as alterações climáticas

As previsões de modelos do sistema terrestre indicam que uma menor disponibilidade de H_2O na atmosfera e no solo resulta numa redução da fotossíntese nas florestas tropicais da Amazônia (Green et al., 2020). No entanto, não é o que acontece na Floresta Nacional do Tapajós, situada na Amazônia, Brasil. Neste bioma existem duas estações, a húmida e a seca, porém existe uma maior capacidade fotossintética na estação seca, quando há menor disponibilidade de H_2O (Wu et al., 2016). Na estação seca, com baixa disponibilidade de H_2O dos solos, a maioria das plantas fecha os estomas para evitar perdas de H_2O , o que limita a fotossíntese. Contudo, é possível que alterações na estrutura do dossel possam compensar parcialmente ou totalmente a escassez de H_2O (Green et al., 2020). A singularidade desta floresta prende-se com a sua folhagem e como esta varia ao longo do ano. Nesta floresta foram identificados três tipos de folhas, jovens, maduras e velhas. Ao longo da estação húmida, há uma baixa produção de novas folhas e predominam as folhas velhas, com menor capacidade fotossintética. Com o começo da estação seca começa a crescer nova folhagem que amadurece gradualmente para terem maior capacidade fotossintética. No final da estação seca, existem mais folhas jovens e maduras do que velhas, aumentando a taxa fotossintética do ecossistema apesar da menor condutância estomática verificada nesta estação (Wu et al., 2016; Green et al., 2020).

Segundo Green et al. (2020), estes dados sugerem que esta região pode ser mais resiliente às alterações climáticas futuras do que se pensava anteriormente, tendo em conta o crescente aumento da temperatura média da Terra, e o facto de esta floresta possuir uma maior capacidade fotossintética quando há menor disponibilidade de H_2O .

3. Metodologia

3.1. Caracterização da Escola Secundária D. Duarte

A Escola Secundária D. Duarte (ESDD), inaugurada como Liceu Nacional D. Duarte a 17 de abril de 1969, é a atual sede do Agrupamento de Escolas Coimbra Oeste (AECO), que inclui Jardins de Infância, EB do 1.º Ciclo e as EB 2,3 Inês de Castro e de Taveiro. Apesar do seu nome, a ESDD também integra o 3.º ciclo do Ensino Básico.

O agrupamento oferece os cursos Científico-Humanísticos de Ciências e Tecnologias e Línguas e Humanidades, vários cursos profissionais, incluindo os de Técnico Auxiliar de Farmácia e de Técnico de Processamento e Controlo da Qualidade Alimentar. Em parceria com o Conservatório Regional de Coimbra, também oferece um ensino articulado à música do 1.º ao 3.º ciclo, integrando ainda o projeto Eco-Escolas e possuindo o Clube Ciência Viva AECO.

3.2. Caracterização das turmas lecionadas durante o estágio pedagógico

3.2.1. 10.º A

A turma A do 10.º ano do curso Científico-Humanístico era constituída por 18 alunos, com idades compreendidas entre os 14 e os 17 anos, sendo que um destes alunos entrou para a turma a meio do ano letivo e não integrava a turma à data das aulas lecionadas pela professora estagiária. Em termos de aproveitamento, esta turma começou com uma média global de 14,01 valores e terminou o 3.º período com uma média de 14,41, em que dois dos seus alunos entraram para o quadro de mérito da escola. Contudo, a participação da turma em atividades de cariz humanitário foi muito pouco expressiva. Em termos de comportamento, os alunos souberam estar na sala de aula e não perturbaram o decorrer das aulas, permitindo um ambiente adequado ao ensino-aprendizagem.

Esta turma participou num projeto de mentoria em que os alunos se puderam oferecer para ajudar os colegas nas disciplinas à sua escolha, tendo-se refletido, por exemplo, em mudanças de lugar na sala de aula.

3.2.2. 10.º B

A turma B do 10.º ano do curso Científico-Humanístico, inicialmente constituída por apenas 12 alunos, foi sofrendo alterações ao longo do ano, com entradas e saídas de alunos, chegando-se a um total de 17 alunos aquando do final do ano letivo. Esta turma caracterizou-se por um aproveitamento suficiente, de 11,78 valores no 1.º período, que baixou para 11,64 valores no 3.º período. Estes resultados têm de ser interpretados dentro do contexto da turma, ou seja, os resultados iniciais não se referem aos mesmos alunos avaliados no final do ano, sendo uma limitação à análise da

evolução da turma. Apesar da média final, destaca-se a entrada de duas alunas para o quadro de mérito da escola.

Não obstante, a turma foi sempre acolhedora dos novos colegas, a maioria vinda do estrangeiro, o que levou a uma excelente integração dos mesmos e a um ambiente de companheirismo. No entanto, surgiram alguns obstáculos em termos de ensino-aprendizagem, devido à falta de bases do 3.º ciclo, consequência das diferenças existentes entre o sistema educativo português e os dos países de origem desses alunos.

Esta turma usufruiu de um tempo letivo opcional de Promoção do Sucesso Escolar (PSE), no qual puderam tirar dúvidas acerca da matéria lecionada. Os alunos que mais apareceram no PSE eram os que apresentavam melhor desempenho, embora alguns alunos com maiores dificuldades também tenham surgido.

Os alunos do 10.º B revelaram uma maior participação em ações de cariz humanitário, por comparação com a turma anterior.

3.3. Seleção de temas e planificação

Aquando da chegada dos estagiários de Biologia-Geologia à escola, no início do ano letivo, as planificações a longo prazo já tinham sido estabelecidas pelos professores do agrupamento. Desta forma, foi pedido que fizessem uma planificação a médio prazo das aulas do 1.º período (Anexo I). Os temas foram decididos no início do ano letivo pela professora estagiária e pelo professor cooperante, embora tenham sofrido alteração, devido à mudança de uma das turmas do professor cooperante, de 11.º ano para 10.º ano, levando a que os estagiários só tenham lecionado 10.º ano. Sendo assim, a professora estagiária ficou encarregada de lecionar o “Vulcanismo” e a “Obtenção de matéria pelos seres autotróficos” nas turmas de 10.º ano A e B, respetivamente.

Neste sentido, a professora estagiária procedeu à planificação de oito aulas de Geologia a serem lecionadas no 1.º Período e oito aulas de Biologia a serem lecionadas no 2.º Período. A ESDD considera uma aula como um tempo letivo de 50 minutos. Nos planos de aula optou-se por uma planificação horizontal, por esta facilitar a leitura e a ligação entre conteúdos, descritores de desempenho, estratégias e recursos, conferindo uma visão imediata de que forma é que os instrumentos vão ser utilizados para se atingirem os objetivos de aprendizagem de certos conteúdos (Figs. 33 e 34). A informação que enquadra a aula aparece no topo da planificação a curto prazo, seguida pela planificação e conceitos-chave a serem aprendidos nessa aula. A definição de descritores de desempenho e a sua especificidade obrigou a uma reflexão de como os iria operacionalizar em sala de aula, o que facilitou todo o processo.

Domínio: Estrutura e Dinâmica da Geosfera Subdomínio: Vulcanismo		Ano/Turma: 10.º A	Ano letivo: 2022 / 2023
Aula(s) n.º(s) <u>6</u> Data: <u>10/11/2022</u> Tempo: 50 minutos	Sumário: Vulcanismo e tectónica de placas (continuação).	AE: “Explicar (ou prever) características de magmas e de atividade vulcânica ativa com base na teoria da Tectónica de Placas.”	

Conteúdos	Descritores de desempenho	Desenvolvimento da aula	Recursos	Avaliação
Vulcões e tectónica de placas	<ul style="list-style-type: none"> Reconhecer a relação entre a distribuição de vulcões ativos no mundo com os limites de placas tectónicas. Distinguir vulcanismo interplaca de intraplaca. 	<ul style="list-style-type: none"> Análise de mapa da distribuição do vulcanismo a nível mundial. Identificação de situações “anómalas”. 	Apresentação multimédia	<ul style="list-style-type: none"> Observação direta e registo da participação.
Vulcanismo associado a limites divergentes	<ul style="list-style-type: none"> Compreender que a formação de dorsais oceânicas é uma consequência do vulcanismo fissural em limites divergentes. Relacionar a formação do magma à descompressão. Associar a origem do magma no manto à atividade efusiva (caso submarino). 	<ul style="list-style-type: none"> Análise e discussão de esquemas relativos a vulcanismo em limites divergentes. Identificação da origem e causa da fusão do magma. 		
Vulcanismo associado a limites convergentes	<ul style="list-style-type: none"> Compreender que existe vulcanismo associado a zonas de subducção. Relacionar a fusão da placa que é subductada com a presença de água. Associar a presença de sedimentos continentais sobre a placa oceânica e fusão parcial da crosta continental com a composição intermédia a ácida do magma que se forma. Distinguir arco vulcânico continental de insular. 	<ul style="list-style-type: none"> Análise e discussão de esquemas relativos a vulcanismo em limites convergentes. Demonstração do abaixamento do ponto de fusão na presença de água. Questionamento, em grupo-turma, sobre a relação entre cadeias montanhosas, o seu contexto tectónico e a presença de vulcanismo. 	Demonstração: Placa de aquecimento 2 cubos de açúcar Água (8 gotas) Papel de alumínio	

Conceitos-chave: arco vulcânico; convergente; descompressão; interplaca; intraplaca; pluma mantélica; ponto de fusão; ponto quente; rifte; subducção.

Figura 33 - Planificação a curto prazo do tema “Vulcanismo” de Geologia do 10.º ano.

Domínio: Obtenção de matéria		Ano/Turma: 10.º B	Ano letivo: 2022 / 2023
Subdomínio: Obtenção de matéria pelos seres autotróficos			
Aula(s) n.º(s) <u>6</u>	Sumário: Fase química (continuação). Realização da atividade prática laboratorial “Fatores limitantes da fotossíntese – parte I”.	AE: “Interpretar dados experimentais sobre fotossíntese (espectro de absorção dos pigmentos, balanço dos produtos das fases química e fotoquímica), mobilizando conhecimentos de Química (energia dos eletrões nos átomos, processos exoenergéticos e endoenergéticos).”	
Data: <u>09/03/2022</u>			
Tempo: 50 minutos			

Conteúdos	Descritores de desempenho	Desenvolvimento da aula	Recursos	Avaliação
Fase química	<ul style="list-style-type: none"> Relacionar a estrutura e composição das diferentes moléculas com as reações de fosforilação e redução. Compreender que o ciclo tem de ocorrer 6 vezes para produzir uma molécula de glicose. 	<ul style="list-style-type: none"> Exploração e análise, em grande grupo, dos diferentes processos da fase química na apresentação interativa. Preenchimento, individual, de duas tabelas síntese sobre a fotossíntese. 	Tabelas síntese	<ul style="list-style-type: none"> Observação direta e registo da participação. Correção das tabelas com <i>feedback</i> formativo.
Fatores limitantes da fotossíntese Pigmentos fotossintéticos Espectro visível e a fotossíntese	<ul style="list-style-type: none"> Fazer previsões. Identificar variáveis dependentes e independentes. Entender a importância da presença de luz, do dióxido de carbono (CO₂) e dos pigmentos fotossintéticos (clorofila) para a fotossíntese. Relacionar a manutenção das plantas no escuro com a ausência de amido. Compreender porque se usa a deteção do amido para saber se ocorreu fotossíntese. 	<p>Fatores limitantes da fotossíntese - parte I:</p> <ol style="list-style-type: none"> Explicação e contextualização da atividade que se vai desenvolver. Distribuição do protocolo. Análise, em grande grupo, do protocolo. Constituição de grupos. Distribuição do material. Realização da montagem experimental. Ponto da situação e esclarecimento de dúvidas. 	Protocolo da atividade Material laboratorial	<ul style="list-style-type: none"> Observação e registo da responsabilidade, autonomia e trabalho em grupo.

Conceitos-chave: amido; clorofila; fator limitante; fotossíntese; pigmento fotossintético; variável dependente; variável independente; variegada.

Figura 34 - Planificação a curto prazo do tema “Obtenção de matéria pelos seres autotróficos” de Biologia do 10.º ano.

3.4. Estratégias e recursos

3.4.1. Pré-teste e pós-teste

A avaliação diagnóstica e o pré-teste, sendo de natureza formativa, possibilitam ao professor identificar os conhecimentos prévios dos alunos e planificar, de acordo com os dados obtidos, a melhor forma de ensinar esses conteúdos àqueles alunos. O pós-teste, no contexto de estágio, permite analisar a evolução dos conhecimentos dos alunos ao longo das aulas, fornecer *feedback* e adaptar o ensino-aprendizagem em função destes dados, que não entram para a classificação dos alunos.

Assim, foi elaborado um teste diagnóstico (pré-teste), que abordou os tópicos do “Vulcanismo” (Fig. 35) lecionados no 7.º ano do 3.º Ciclo do Ensino Básico, dado que este foi o último momento em que os alunos contactaram com esta temática num contexto de ensino formal. Este teste contemplou apenas itens de resposta rápida, onze de escolha múltipla, dois de identificação, um de ordenação e um de verdadeiro ou falso (V/F). Optou-se por incluir apenas itens de resposta rápida, de modo a se abordarem o máximo de conceitos que os alunos já devem possuir, mas sem ser demasiado moroso.

Os primeiros itens incidiram sobre conhecimentos relativos à distribuição de vulcões e à estrutura de um vulcão. A questão 8 pedia que se relacionasse a estrutura dos vulcões do esquema com o tipo de materiais expelidos e o tipo de erupção. No final do teste voltou-se a questionar sobre a estrutura de um vulcão, mas desta vez com o objetivo de diagnosticar se os alunos conseguiam identificar as estruturas visualmente, num esquema, permitindo que alunos com diferentes modos de aprendizagem, mais visual, tenham oportunidade de demonstrar o seu conhecimento. Dada a natureza de questões como as de escolha múltipla, incluiu-se a opção “Não sei” para evitar a seleção de uma resposta ao acaso.

No que diz respeito ao teste diagnóstico de Biologia (Fig. 36), este abordou os conhecimentos relativos à “Obtenção de matéria pelos organismos autotróficos”, lecionados pela última vez no 8.º ano do 3.º ciclo do Ensino Básico, com exceção dos ecossistemas e das cadeias tróficas que já haviam sido lecionados no presente ano letivo. Nomeadamente, ideias simples acerca do processo fotossintético e cadeias tróficas. Adicionalmente, incluíram-se também itens destinados a detetar conceções prévias erróneas identificadas na literatura, como, por exemplo, no item 7, sobre o que constitui o “alimento” das plantas, e no item 10, relativo ao objetivo da fotossíntese.

Considerando que a resposta ao item 12 depende, parcialmente, da resposta ao item anterior (11), na correção foram aceites respostas ao item 12 que estivessem de acordo com a resposta do aluno no item 11, mesmo que esta última estivesse errada. Deste modo, não se penalizou os alunos duas vezes pelo mesmo erro.

Nome: _____ Ano/Turma: _____

Teste diagnóstico – Vulcanismo

Leia atentamente e responda às questões apresentadas.

Nas respostas aos itens de escolha múltipla, seleccione a única opção correta, ou a opção “Não sei”.

1. Os vulcões...
 - (A) estão sempre associados a limites de placas tectónicas.
 - (B) estão distribuídos ao acaso pela superfície da Terra.
 - (C) podem estar associados a limites de placas tectónicas.
 - (D) não existem nos oceanos.
 - (E) Não sei.

2. Uma cratera vulcânica é...
 - (A) um canal por onde ascende material vulcânico.
 - (B) o local onde o material em fusão é armazenado.
 - (C) a abertura por onde sai o material fundido.
 - (D) uma depressão causada pelo colapso do vulcão.
 - (E) Não sei.

3. A chaminé vulcânica é...
 - (A) a estrutura formada pela acumulação de materiais vulcânicos.
 - (B) o canal por onde ascendem os materiais vulcânicos.
 - (C) a abertura por onde são expelidos os materiais vulcânicos.
 - (D) a emissão intermitente de jatos de água de água a alta temperatura, que podem atingir vários metros de altura.
 - (E) Não sei.

Figura 35 – Correção do Teste Diagnóstico e respetiva correção relativo ao “Vulcanismo”, implementado no início (pré-teste) e no fim (pós-teste) da prática letiva supervisionada.

4. A câmara magmática é um reservatório...
- (A) de lava localizado na superfície da Terra.
 - (B) de lava localizado no interior da Terra.
 - (C) de magma localizado na superfície da Terra.
 - (D) de magma localizado no interior da Terra.
 - (E) Não sei.
5. O magma que alimenta os vulcões tem origem...
- (A) no núcleo interno da Terra.
 - (B) no núcleo externo da Terra.
 - (C) no manto superior da Terra.
 - (D) na crosta superior da Terra.
 - (E) Não sei.
6. O vulcanismo primário...
- (A) caracteriza-se por erupções fissurais.
 - (B) está associado à extrusão de magma.
 - (C) associa-se apenas às erupções efusivas.
 - (D) relaciona-se com a libertação de gases e/ou água quente.
 - (E) Não sei.
7. As lavas fluidas apresentam vários aspetos, tais como as...
- (A) lavas em almofada, que são formadas em ambiente submarino.
 - (B) lavas encordoadas ou aa, que são semelhantes a cordas.
 - (C) lavas aa ou pahoehoe, mais viscosas e com superfícies fragmentadas.
 - (D) lavas pahoehoe, que são formadas em ambiente subaéreo e são rugosas.
 - (E) Não sei.

Figura 35 (continuação) – Correção do Teste Diagnóstico e respetiva correção relativo ao “Vulcanismo”, implementado no início (pré-teste) e no fim (pós-teste) da prática letiva supervisionada.

8. Nas figuras 1A e 1B estão representados dois tipos de aparelhos vulcânicos. Responda às seguintes questões relativamente a estes.

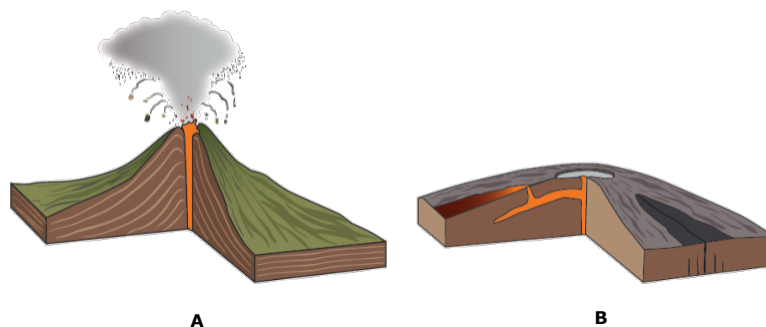


Figura 1 - Representações esquemáticas de dois tipos de vulcões. Retirado de Missão Terra 7.

- 8.1 A figura 1A representa um vulcão cuja erupção é caracterizada por...

- (A) lavas muito viscosas.
- (B) fácil libertação de gases.
- (C) lavas muito fluidas.
- (D) inexistência de piroclastos.
- (E) Não sei.

- 8.2 Na figura 1B está representado um vulcão com atividade do tipo...

- (A) explosivo, que emite lavas fluidas.
- (B) efusivo, que emite lavas viscosas.
- (C) explosivo, que emite lavas viscosas.
- (D) efusivo, que emite lavas fluidas.
- (E) Não sei.

- 8.3. Identifique o vulcão:

- a) cujas rochas possuem maior teor de sílica: 1A
- b) cuja lava é extruída a temperaturas mais elevadas: 1B

8.4. Os magmas formados em limites _____ originam, geralmente, erupções do tipo_____.

- (A) convergentes ... efusivo
- (B) divergentes ... explosivo
- (C) divergentes ... efusivo
- (D) conservativos ... misto
- (E) Não sei.

9. Ordene os seguintes piroclastos por ordem crescente de tamanho.

- (A) Bombas (B) Cinzas (C) Lapílli

_____ Cinza - Lapílli - Bombas _____

10. Classifique cada uma das afirmações como verdadeira (V) ou falsa (F).

- A. Da atividade vulcânica podem originar-se novas regiões emersas. V
- B. Os piroclastos são gases emitidos pelos vulcões. F
- C. As erupções vulcânicas podem ter consequências globais. V
- D. As erupções vulcânicas são geralmente fenômenos imprevisíveis. F
- E. Não existe relação entre o tipo de magma existente na câmara magmática e a forma como este é expelido pelo vulcão. F
- F. A atividade vulcânica mostra que a Terra é um planeta geologicamente ativo, em constante transformação. V
- E. O magma e a lava têm a mesma composição, diferem apenas na sua localização. F

Figura 35 (continuação) – Correção do Teste Diagnóstico e respetiva correção relativo ao “Vulcanismo”, implementado no início (pré-teste) e no fim (pós-teste) da prática letiva supervisionada.

11. Erupções intermitentes de água quente e de gases são designadas por...

- (A) emissão de lava.
- (B) fumarolas.
- (C) géiseres.
- (D) nascentes termais.
- (E) Não sei.

12. Identifique cada uma das estruturas representadas pelos números da figura 2.

- (1) Câmara magmática
- (2) Cone vulcânico
- (3) Cratera vulcânica
- (4) Chaminé vulcânica

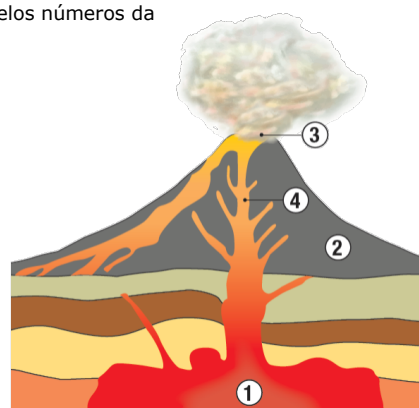


Figura 2 – Secção esquemática de aparelho vulcânico. Retirado de missão Terra 7.

Nome: _____ Ano/Turma: _____

Teste diagnóstico – Obtenção de matéria pelos seres autotróficos

Leia atentamente e responda às questões apresentadas.

Nas respostas aos itens de escolha múltipla, seleccione a única opção correta, ou a opção “Não sei”.

1. Os organismos autotróficos...
 - (A) utilizam sempre a luz como fonte de energia.
 - (B) alimentam-se de substâncias externas.
 - (C) produzem o próprio alimento.
 - (D) produzem metano.
 - (E) Não sei.

2. Não são organismos autotróficos...
 - (A) as plantas.
 - (B) os animais.
 - (C) as cianobactérias.
 - (D) as algas.
 - (E) Não sei.

3. As plantas são organismos...
 - (A) autotróficos unicelulares.
 - (B) heterotróficos pluricelulares.
 - (C) heterotróficos unicelulares.
 - (D) autotróficos pluricelulares.
 - (E) Não sei.

Figura 36 - Correção do Teste Diagnóstico e respetiva correção relativo à “Obtenção de matéria pelos seres autotróficos”, implementado no início (pré-teste) e no fim (pós-teste) da prática letiva supervisionada.

4. Num ecossistema os organismos autotróficos ocupam o lugar de...
- (A) consumidores de 1ª ordem.
 - (B) consumidores de 2ª ordem.
 - (C) microconsumidores.
 - (D) produtores.
 - (E) Não sei.
5. Num ecossistema os organismos autotróficos ocupam o...
- (A) 1.º nível trófico.
 - (B) 2.º nível trófico.
 - (C) 3.º nível trófico.
 - (D) 4.º nível trófico.
 - (E) Não sei.
6. A fotossíntese, na maioria das plantas, ocorre principalmente...
- (A) em células das folhas.
 - (B) nas células das raízes.
 - (C) as células do caule.
 - (D) em todas as células.
 - (E) Não sei.
7. As plantas "alimentam-se" a partir de...
- (A) água.
 - (B) sais minerais.
 - (C) luz.
 - (D) glícidos.
 - (E) Não sei.

Figura 36 (continuação) - Correção do Teste Diagnóstico e respetiva correção relativo à "Obtenção de matéria pelos seres autotróficos", implementado no início (pré-teste) e no fim (pós-teste) da prática letiva supervisionada.

8. A água entra nas plantas através...

- (A) das raízes.
- (B) das folhas
- (C) das folhas e das raízes.
- (D) do caule.
- (E) Não sei.

9. O dióxido de carbono entra nas plantas através...

- (A) das raízes.
- (B) das folhas.
- (C) das folhas e das raízes.
- (D) do caule.
- (E) Não sei.

10. O objetivo da fotossíntese é...

- (A) libertar oxigénio.
- (B) produzir matéria orgânica.
- (C) libertar dióxido de carbono.
- (D) libertar água.
- (E) Não sei.

11. Complete a equação da fotossíntese.

_____ (a) _____ + Dióxido de carbono \Rightarrow _____ (b) _____ + Glúcidos

(a) Água

(b) Oxigénio

Figura 36 (continuação) - Correção do Teste Diagnóstico e respetiva correção relativo à “Obtenção de matéria pelos seres autotróficos”, implementado no início (pré-teste) e no fim (pós-teste) da prática letiva supervisionada.

12. Faça a correspondência entre os intervenientes/produtos da fotossíntese na equação da questão anterior (com exceção dos glúcidos) e o local por onde entram/saem da planta.

- (a) 1
- Dióxido de carbono** 2
- (b) 3

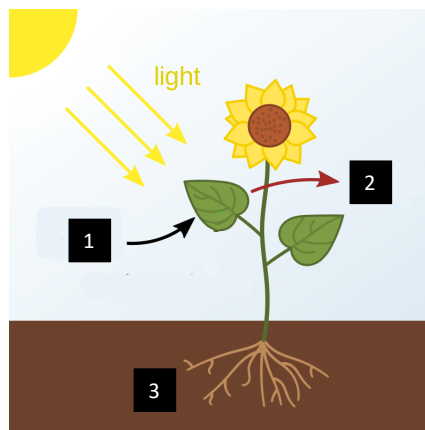


Figura 1 – Esquema da fotossíntese numa planta. Adaptado de Wikipedia.

Figura 36 (continuação) - Correção do Teste Diagnóstico e respetiva correção relativo à “Obtenção de matéria pelos seres autotróficos”, implementado no início (pré-teste) e no fim (pós-teste) da prática letiva supervisionada.

3.4.2. Demonstração

No 10.º A, foi realizada uma demonstração a fim de auxiliar a compreensão dos alunos acerca da formação de magma em contextos tectónicos convergentes, mais concretamente o efeito dos voláteis no abaixamento do ponto de fusão das rochas do manto àquela profundidade. Para esse efeito, foram colocados dois cubos de açúcar em folhas de alumínio, numa placa de aquecimento, e um aluno adicionou água a um dos cubos (Fig. 37). De seguida, os alunos fizeram previsões acerca dos resultados e observou-se o tempo necessário para que ocorresse a fusão do cubo nas duas situações. Isto proporcionou que os alunos visualizassem um conceito, que, de outra forma, se apresentaria como abstrato, e compreendessem a formação de magma naquele contexto. Esta demonstração foi realizada imediatamente a seguir à explicação da professora, para garantir a interligação entre o processo e a demonstração.



Figura 37 - Demonstração do abaixamento do ponto de fusão do açúcar na presença de água (esquerda) e na ausência de água (direita), em sala de aula.

3.4.3. Atividades práticas

No tema do “Vulcanismo”, lecionado no 10.º A, foram implementadas uma atividade prática de lápis e papel intitulada “Cartas de Pompeia” e uma atividade prática laboratorial designada “Pontos quentes: Janelas para o interior da Terra”. No tema da “Obtenção de matéria pelos organismos autotróficos”, lecionado no 10.º B, foram implementadas uma atividade de lápis e papel sobre “Fotossíntese na Floresta Nacional do Tapajós, Amazônia”, uma atividade prática laboratorial experimental respeitante a “Fatores limitantes da fotossíntese - parte I” e uma atividade prática de simulação designada “Fatores limitantes da fotossíntese - parte II”.

Começando pela Geologia, na terceira aula lecionada, os alunos observaram e manipularam amostras de mão de piroclastos, facto que constituiu uma oportunidade de revisão do que se tinha aprendido sobre os piroclastos na aula anterior. Os alunos tiveram a oportunidade de observar a diferença das dimensões entre as cinzas, o *lapilli* e as bombas, e de experienciarem o peso das pedra-pomes, o que contribuiu para um melhor entendimento da atividade seguinte.

“Cartas de Pompeia” (Fig. 38) foi uma atividade criada com os objetivos de desenvolver a leitura, a interpretação e a compreensão de textos e de contextualizar a matéria em termos de HC e de NdC. Foi apresentada aos alunos uma das cartas de Plínio,

o Jovem, a Tácito, um documento histórico que deixou registada a descrição da erupção do Vesúvio em 79 AD. Pretendeu-se que os alunos conseguissem selecionar a informação relevante e relacioná-la com conceitos aprendidos na sala de aula, não esquecendo a importância de os fazer refletir sobre a HC, a construção do conhecimento científico e a importância dos relatos históricos.

Esta atividade foi implementada após a lecionação dos diferentes tipos de piroclastos e dos diferentes tipos de atividade vulcânica. Num primeiro momento, foi resolvida individualmente pelos alunos e, posteriormente, corrigida em conjunto pela turma, com auxílio e questionamento da professora. Inicialmente, seria realizada antes da lecionação dos diferentes tipos de atividade vulcânica; contudo a professora apercebeu-se de que a questão 1 exigia o conhecimento desta matéria e trocou a ordem respetiva.

Atividade prática de lápis e papel **Cartas de Pompeia**

Plínio o Velho foi um historiador e naturalista romano e que, na altura da sua morte, era almirante da frota de Miseno. Aquando da erupção do Vesúvio no ano 79, Plínio, que residia perto de Pompeia, deslocou-se até esta cidade para observar os efeitos da atividade vulcânica de perto. A erupção que resultaria na destruição de Pompeia resultou também na sua morte.

Em duas cartas trocadas com o historiador Tácito (56–120), Plínio o Jovem deixou-nos um dos principais documentos sobre a erupção do Vesúvio (*Epistulae* VI, 16; 20), que destruiu Pompeia, tendo sido testemunha ocular do evento, no qual faleceu o seu tio materno e pai adotivo, Plínio o Velho (23–79).

Carta 16 (Livro VI)

Caio Plínio saúda Tácito

1. Pedes-me que te descreva a morte de meu tio para que mais veridicamente possas transmiti-la à posteridade. Agradeço-te, pois vejo apresentar-se à sua morte, se celebrada por ti, uma glória imortal.

(...)

5. Tendo tomado um banho de sol e logo um de água fria, comera recostado, e estudava; pede as sandálias e sobe a um lugar de onde pudesse ver melhor aquela maravilha. Uma nuvem surgia –aos que observavam de longe era incerto saber de qual monte; posteriormente soube-se ter sido o Vesúvio– cuja semelhança e forma reproduzia mais um pinheiro do que outra árvore.

6. Pois, como que extraída de um longuíssimo tronco, distendia-se para o alto em uma espécie de ramos, segundo creio, porque elevada por uma emanção recente, languescendo em seguida até cessar, ou ainda desvanecia em extensão vencida por seu peso, ora cândida, ora hedionda e escura, conforme carregasse terra ou cinza.

(...)

11. Já caía cinza sobre os barcos, mais quente e mais densa quanto mais se aproximavam; já também pedras-pomes negras e calcinadas e lascadas pelo fogo; já um repentino baixio, e as praias inacessíveis pelo derruimento do monte. Tendo

Figura 38 - Atividade prática de lápis e papel "Cartas de Pompeia" e respetiva correção, realizada pela turma 10.º A.

hesitado um momento sobre se retrocedia, ao timoneiro que advertia assim se fizesse, logo diz: "Aos corajosos favorece a fortuna. Conduze à casa de Pomponiano."

(...)

14. Mas a área, pela qual se chegava ao aposento, se elevava de tal modo já cheia de cinza e pedras-pomes misturadas que, se houvesse uma demora maior no cubículo, a saída estaria impedida. Tendo sido despertado, foi para fora e juntou-se a Pomponiano e aos outros que haviam ficado de vigília.

(...)

16. Ao ar livre, por sua vez, temia-se a queda de pedras-pomes apesar de leves e porosas; contudo, a comparação dos perigos escolheu este. E para aquele, esta razão venceu a razão, para os outros, este temor ao temor. Tendo-se colocado travesseiros sobre as cabeças,

amarram-nos com lenços; esta foi a proteção contra o que caía.

(...)

18. Ali, deitado sobre um lençol estendido, uma e outra vez pediu água fresca e bebeu. Depois as chamas e, o prenúncio das chamas, o cheiro de enxofre põem os outros em fuga e o despertam.

19. Apoiando-se em dois escravos jovens, levantou-se e de pronto caiu, segundo eu suponho, por causa da obstrução da respiração devida ao vapor mais denso e do fechamento da traqueia, a qual ele tinha, por natureza, débil e estreita inflamando frequentemente.

20. Quando se fez novamente dia – o terceiro para quem o vira pela última vez – encontrou-se o corpo intacto, ileso e coberto assim como se tinha vestido: o aspeto do corpo assemelhava-se mais ao de quem dorme do que ao de um defunto.

Adaptado de:
Furlan, Mauri & Jovem, Plínio. (2020). – Da erupção do Vesúvio – Epistulae ad Tacitum (VI, 16; 20)/ Cartas a Tácito (VI, 16; 20).

Figura 38 (continuação) - Atividade prática de lápis e papel "Cartas de Pompeia" e respetiva correção, realizada pela turma 10.º A.

Objetivos

- Interpretar um texto e relacionar com conceitos da matéria.
- Analisar situações tendo em conta o seu contexto histórico.
- Compreender a importância dos relatos históricos para a construção do conhecimento científico.

Leia atentamente e responda às questões apresentadas.

1. Identifique que tipo de erupção é descrita na carta. Justifique.

A erupção descrita na carta é do tipo explosivo, pois é mencionada a queda de pedra-pomes que se formam a partir de lavas viscosas, características de erupções explosivas. Também é descrita uma nuvem com forma de um pinheiro, que seria uma coluna de piroclastos.

2. Relacione a descrição "leves e porosas" com o processo de formação de pedra-pomes.

As pedras-pomes resultam da solidificação de lavas viscosas, que contêm gases retidos que não se libertam com facilidade. Ao ocorrer a solidificação, o espaço, anteriormente ocupado por gases, forma vesículas, o que leva a uma menor densidade e peso.

3. Explique a importância dos relatos de observações históricas para a construção do conhecimento científico, tendo em conta o contexto histórico em que foi redigida a carta de Plínio o Jovem a Tácito.

No ano 79, a descrição da erupção era a única forma de relatar e registar o que Plínio o Jovem testemunhou. Os relatos históricos permitem registar observações de acontecimentos geológicos históricos, possibilitando que estes sejam estudados e compreendidos, contribuindo assim para a evolução do conhecimento científico.

4. Refira qual foi, segundo a carta, a causa da morte de Plínio o Velho.

Segundo a carta, Plínio o Velho morreu de asfixia devido aos vapores emitidos pelo vulcão.

Figura 38 (continuação) - Atividade prática de lápis e papel "Cartas de Pompeia" e respetiva correção, realizada pela turma 10.º A.

Na atividade prática laboratorial “Pontos quentes: Janelas para o interior da Terra”, os alunos tiveram a oportunidade de explorar um modelo e manipular variáveis que lhes permitissem dar resposta às questões da atividade. Nesta atividade, cada elemento tem um propósito na obtenção de dados que auxiliam os alunos na sua resolução. Esta atividade foi implementada no final das aulas assistidas de “Vulcanismo”, como forma de consolidação e aplicação de conhecimentos, e compreendeu a realização de um relatório em formato “V de Gowin”. Esta atividade também foi implementada pela professora estagiária no 10.º B, a pedido do professor cooperante.

Os alunos foram confrontados inicialmente com dois exemplos de pontos quentes, dos quais um continental e um oceânico. A atividade iniciou-se com o uso de um modelo de um ponto quente que lhes permitiu observar como é que o movimento de uma placa tectónica sobre uma pluma mantélica origina um alinhamento de vulcões (Fig. 39A). Foi-lhes pedido que estabelecessem a correspondência entre o modelo e a realidade, para garantir que compreendiam o processo geológico à escala natural. Por fim, os alunos tiveram de desenhar a área ocupada pelas estruturas vulcânicas mais antigas, resultantes de um ponto quente, conhecendo o sentido de movimentação da placa tectónica e a posição atual do ponto quente. Pretendeu-se, deste modo, que existisse uma articulação entre a forma como os alunos aprendem e como aplicam esses conhecimentos e são avaliados. As outras duas partes da atividade levaram o aluno a investigar as características, viscosidade (Fig. 39B) e desgaseificação (Fig. 39C), dos dois “magmas” A e B dos pontos quentes mencionados anteriormente, e identificar qual deles corresponderia, respetivamente, ao magma gerado num ponto quente continental e num ponto quente oceânico, fundamentando as suas respostas.

A correção das questões colocadas nesta atividade foi feita na aula em conjunto com os alunos. A proposta de resolução é apresentada na figura 40.

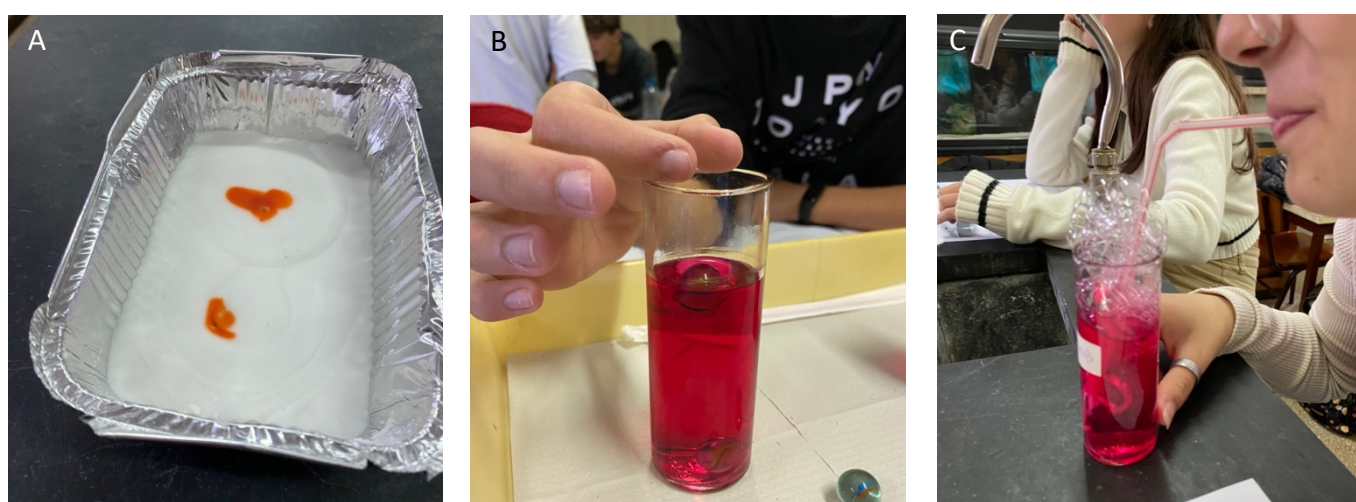


Figura 39 - Realização das atividades, ponto quente (A), viscosidade (B) e desgaseificação (C), da atividade prática laboratorial "Pontos quentes: Janelas para o interior da Terra".

Atividade prática laboratorial **Pontos quentes: Janelas para o interior da Terra**

Embora a maioria da atividade vulcânica se concentre nos limites das placas tectónicas, existem também casos em que esta ocorre longe destes limites, em locais designados por pontos quentes.

O Parque Nacional de Yellowstone nos EUA (Fig. 1B) tem características distintas que o tornam um local privilegiado para o estudo do interior da Terra. A atividade vulcânica secundária que se observa nesta região, que se estende pelos estados de Wyoming, Montana e Idaho (Fig. 1B), é resultado de uma pluma mantélica situada abaixo da placa continental norte-americana. É também em Yellowstone, cuja última erupção ocorreu há cerca de 70 000 anos, que encontramos uma das maiores caldeiras do mundo, com dimensões de 70 por 45 km.

O vulcanismo do arquipélago do Havai (Fig. 1 A, B) é bastante semelhante ao de Yellowstone, sendo que, no caso do Havai, o ponto quente (Fig. 3) se encontra numa placa oceânica, a placa do Pacífico. As ilhas do arquipélago do Havai foram criadas por uma única fonte de magma sobre a qual a placa litosférica se movimenta lentamente para noroeste (Fig. 1C).

Adaptado de:
Frost, B. R., & Frost, C. D. (2013). Intracontinental volcanism [PDF]. Em *Essentials of igneous and metamorphic petrology*.
Smith, R. B., & Christiansen, R. L. (1980). Yellowstone Park as a Window on the Earth's Interior.

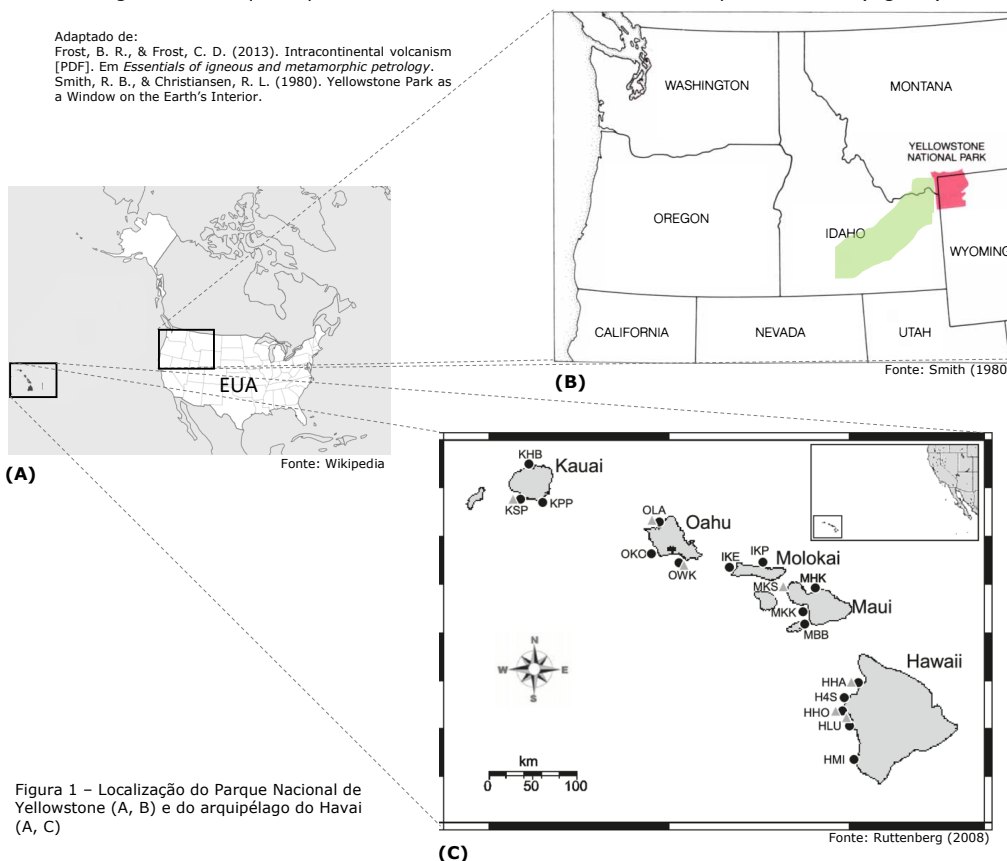


Figura 1 – Localização do Parque Nacional de Yellowstone (A, B) e do arquipélago do Havai (A, C)

Figura 40 - Atividade prática laboratorial "Pontos quentes: Janelas para o interior da Terra" e respetiva correção, aplicada nas turmas 10.º A e 10.º B.

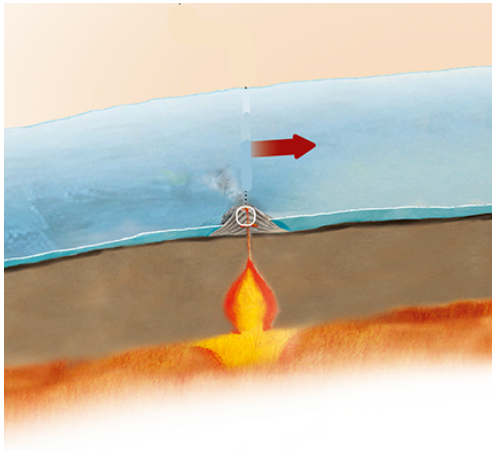


Figura 2 – Corte esquemático do ponto quente do arquipélago do Havai. Adaptado de Odisseia 10.

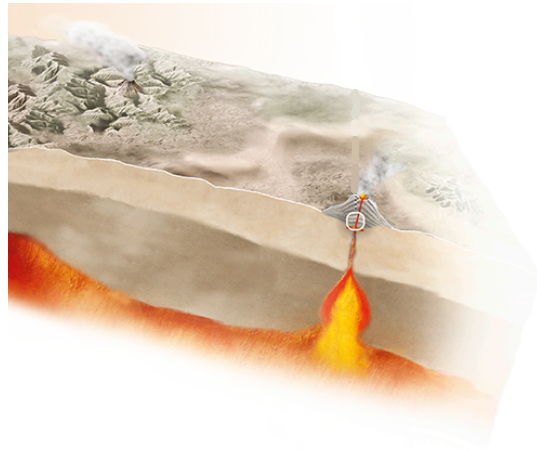


Figura 3 – Corte esquemático do ponto quente de Yellowstone. Adaptado de Odisseia 10.

Objetivos

- Compreender o processo de formação de pontos quentes.
- Associar os elementos de um modelo com a correspondente realidade.
- Estabelecer uma relação entre a idade de uma ilha e a sua distância ao ponto quente.
- Inferir a idade relativa de uma ilha em função do sentido de movimento a placa litosférica.
- Identificar o sentido de formação de estruturas vulcânicas em função do sentido de movimento da placa litosférica sobre um ponto quente.
- Investigar as características de um magma.
- Relacionar a origem do magma e o contexto técnico com o tipo de erupção.
- Identificar características de vulcanismo ativo e inativo.

Atividade 1: Ponto quente

Material (Fig. 4)

- Água (50 ml)
- Amido de milho (90 ml)
- Colher de sopa (1)
- Fósforos
- Gobelés (1 de 50 ml e 1 de 100 ml)
- Lamparina de álcool (1)
- Recipiente de alumínio (1)
- Suporte (1)

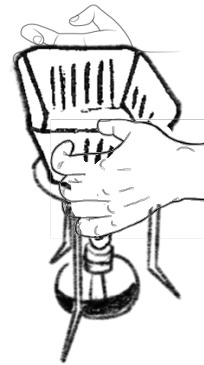


Figura 4 - Representação esquemática da montagem do modelo de um ponto quente

Procedimento

1. Misturar o amido de milho com a água no recipiente de alumínio, com ajuda da colher. A mistura deve ter uma consistência líquida, semissólida ao toque, e deve cobrir o fundo do recipiente.

Nota: Se estiver demasiado líquida, adicionar mais amido de milho, se tiver dificuldade em misturar o amido com a água, adicionar mais água.

2. Acender a lamparina de álcool com cuidado e colocar o suporte por cima.
3. Colocar o recipiente no suporte, de modo que o início do recipiente fique sobre a chama. **Segurar sempre o recipiente com as duas mãos (Fig. 4).**
4. Manter o recipiente sobre a chama durante cerca de 1 minuto.
5. Mexer o recipiente no sentido oposto e deixar sobre a chama durante 1 minuto.
6. Repetir até chegar ao fim do recipiente.
7. Responder às questões.

Questões

1. Faça a correspondência entre os elementos do modelo e os seus correspondentes na realidade.

(a) Lamparina	(1) Magma/Lava
(b) Mistura de amido de milho	(2) Placa litosférica
(c) Recipiente	(3) Fonte de calor

2. Identifique a origem do magma do qual derivaram ambos os pontos quentes referidos no texto.

O magma que está na origem de ambos pontos quentes vem do manto.

3. Refira, justificando, qual das ilhas do Havai se formou mais recentemente (mapa C da figura 1).

A ilha mais recente é a ilha Havai, pois a placa do Pacífico, onde se encontram as ilhas, está a movimentar-se para noroeste sobre o ponto quente fixo, logo as ilhas formam-se na direção noroeste-sudeste.

Figura 40 (continuação) - Atividade prática laboratorial "Pontos quentes: Janelas para o interior da Terra" e respetiva correção, aplicada nas turmas 10.º A e 10.º B.

4. Explique as dimensões reduzidas da ilha Kauai relativamente às da ilha Havai (mapa C da figura 1).

A ilha Kauai foi a que se formou há mais tempo e por isso esteve mais tempo exposta aos agentes da geodinâmica externa e, conseqüentemente, à erosão. A remoção de sedimentos com o tempo resultou nas suas dimensões reduzidas em comparação com a ilha mais antiga (Havai).

5. Dado que o ponto quente se encontra atualmente sob Yellowstone e que a placa norte-americana se move para sudoeste, desenhe, **no mapa (B)** da figura 1, a área correspondente às estruturas vulcânicas anteriores a Yellowstone e resultantes do mesmo ponto quente.

Atividade 2: Viscosidade

→ Entende-se por viscosidade a resistência de um fluido ao escoamento. Existem vários tipos de magmas que diferem em vários fatores, como a viscosidade, o teor em gases, a temperatura e a quantidade de sílica. Quando estes ascendem até à superfície perdem os gases, num processo denominado desgaseificação.

Supondo que lhe são fornecidas amostras do magma oriundo do **Havai** e de **Yellowstone**, proceda à análise da sua viscosidade e facilidade de desgaseificação.

Material

- Berlindes (2)
- Gobelés (2 de 150 ml)
- "Magmas" A e B (150 ml de cada)
- Régua (1 de 10 cm)

Procedimento

1. Medir a altura do gobelé.
2. Largar o berlinde no magma A do topo do gobelé (Fig. 5).

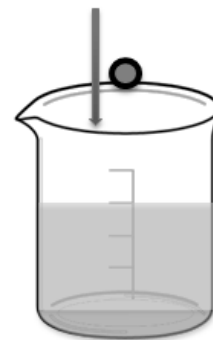


Figura 5 - Representação esquemática da atividade 2. Adaptado de TeachEngineering.

3. Cronometrar o tempo que o berlinde demora a atingir o fundo do gobelé.
4. Repetir para o magma B, largando o berlinde à mesma altura.
5. Registrar os resultados na tabela 1.

Tabela I – Resultados sobre a viscosidade.

Magma	Distância vertical que o berlinde percorre (cm)	Tempo que o berlinde demora a atingir o fundo do gobelé (s)	Taxa de queda do berlinde (cm/s)
A	10	12	0,83
B	10	2	5

Atividade 3: Desgaseificação

- Agora, proceda à análise das amostras de magma relativamente à sua facilidade em perder gases.

Material (Fig. 6)

- Gobelés (2 de 150 ml)
- "Magma" A e B (150 ml de cada)
- Palhinhas (2)
- Tabuleiro (1)



Figura 6 - Exemplo do material a utilizar. Retirado de Earth Learning Idea - Bubble mania.

Procedimento

1. Pegar numa palhinha e soprar, lentamente, até formar bolhas no magma A.
2. Observar e registar na tabela 2 o que acontece relativamente à sua formação e libertação.

Tabela II – Observações sobre a desgaseificação.

Magma	Força relativa necessária para criar bolhas	Facilidade com que as bolhas se libertam
A	É necessária mais força	Bolhas não se libertam tão facilmente
B	É necessária menos força	Bolhas libertam-se com facilidade

3. Repetir para o magma B.
4. Preencher o V de Gowin.
5. Responder às questões.

Questões

1. Refira qual dos magmas é mais viscoso. Justifique.

O magma A é mais viscoso porque a taxa de queda do berlinde é mais lenta e tem maior dificuldade em libertar gases, logo apresenta uma maior resistência ao movimento.

2. Faça a correspondência entre os magmas A e B e os dois tipos de ponto quente (Havai ou Yellowstone).

Magma A – Yellowstone

Magma B - Havai

3. Explique o tipo de atividade vulcânica que teríamos em cada caso (Havai e Yellowstone), recorrendo aos dados no texto e aos resultados obtidos.

Em ambos casos o magma tem origem no manto, logo seria expectável atividade vulcânica efusiva nos dois. No entanto, após a análise dos magmas, verificou-se que um é mais viscoso que o outro, o que quer dizer que teríamos uma erupção explosiva no caso de Yellowstone. Isto

6

Figura 40 (continuação) - Atividade prática laboratorial "Pontos quentes: Janelas para o interior da Terra" e respetiva correção, aplicada nas turmas 10.º A e 10.º B.

pode ser explicado pelo facto de Yellowstone se tratar de um ponto quente continental em que o magma básico, com origem no manto, ascende através da crosta continental e incorpora material ácido desta, resultando no magma mais viscoso que analisámos.

- 4.** Comente a seguinte afirmação: "O Parque Nacional de Yellowstone apresenta vulcanismo ativo." No texto é referido que a última erupção foi há 70 000 anos, no entanto Yellowstone encontra-se num contexto tectónico que permite a formação de magma, um ponto quente.

Figura 40 (continuação) - Atividade prática laboratorial "Pontos quentes: Janelas para o interior da Terra" e respetiva correção, aplicada nas turmas 10.º A e 10.º B.

Quanto ao tema “Obtenção de matéria pelos seres autotróficos”, lecionado na turma 10.º B, começou-se pela atividade de lápis e papel “Fotossíntese na Floresta Nacional do Tapajós, na Amazônia” (Fig. 41), que foi implementada no final da segunda aula assistida de Biologia. É importante ressaltar que, previamente à realização da atividade, foi explicado aos alunos o que eram estomas e qual a sua função, conhecimento prévio necessário à compreensão desta.

A atividade apresenta um caso incomum e que contraria o que os alunos aprenderam na aula: a taxa fotossintética ser superior quando há menor disponibilidade de água, obrigando os alunos a pesquisar os dados que explicam esta situação e promovendo o seu espírito crítico. Isto é feito através da interpretação de várias fontes de informação, tais como texto, imagens e gráficos. Para facilitar a compreensão da informação, a “grande questão” é segmentada em várias questões intercalares, que guiam o aluno na recolha dos dados necessários para compreender o caso desta floresta.

A correção das questões foi iniciada na própria aula, em conjunto com os alunos, e concluída na aula seguinte. Na correção da última questão, foi também elaborado um esquema no quadro, destinado a auxiliar a compreensão por parte dos alunos da interligação dos vários fatores que demonstram o potencial da floresta para ser resiliente ao aquecimento global. Esta questão possibilitou relacionar a matéria com uma problemática atual, com a qual os alunos já estavam familiarizados numa perspetiva de Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), conferindo maior significado à aprendizagem e permitindo que os alunos percebessem a aplicação do que aprenderam na resolução de problemas reais.

Atividade prática de lápis e papel **Fotossíntese na Floresta Nacional do Tapajós, na Amazônia**

A Floresta Nacional do Tapajós é uma floresta tropical localizada na Amazônia, Brasil. Neste bioma existem duas estações: a húmida e a seca. Antes de começar o estudo de quase duas décadas da floresta tropical da Amazônia, a equipa de Scott Saleska assumiu, baseando-se em estudos de florestas temperadas e modelos ecológicos, que a fotossíntese atingiria o seu pico na estação húmida.

Contrariamente ao que seria de esperar, esta floresta apresenta uma maior capacidade fotossintética na estação seca do que na estação húmida.

Com o objetivo de compreender esta variação na capacidade fotossintética e quais as suas causas, a equipa analisou este ecossistema a várias escalas, desde a da folha à da paisagem. O estudo incidiu sobre a precipitação, a capacidade fotossintética, os tipos de folhas existentes e as suas características e frequência ao longo do ano.

Segundo os dados amostrados, existem três tipos de folhas: as velhas, as maduras e as jovens (fig. 1). As folhas velhas são mais rijas e menos flexíveis e, como tal, apresentam estomas (poros) menos eficientes. Ao longo da estação húmida há uma baixa produção de novas folhas, sendo que, no final desta, cerca de 90% das folhas têm pelo menos seis meses (velhas). As folhas velhas caem no final da estação húmida e começam a crescer novas folhas. Chegando a novembro, as folhas com menos de seis meses prevalecem sobre as folhas velhas. A folhagem que predomina em cada uma das estações pode ser analisada nas figuras 2 e 3C.

Os resultados do estudo encontram-se expressos na figura 3.

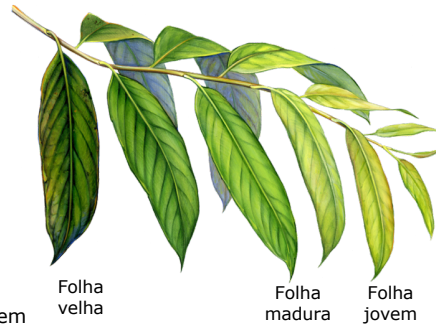


Figura 1 – Tipos de folhas na Floresta Nacional do Tapajós: velhas, maduras e jovens. Retirado de *From leaf to landscape* (2017). bioGraphic.



Figura 2 – Coloração das folhas na estação húmida e na estação seca, na Floresta Nacional do Tapajós. Retirado de *From leaf to landscape* (2017).

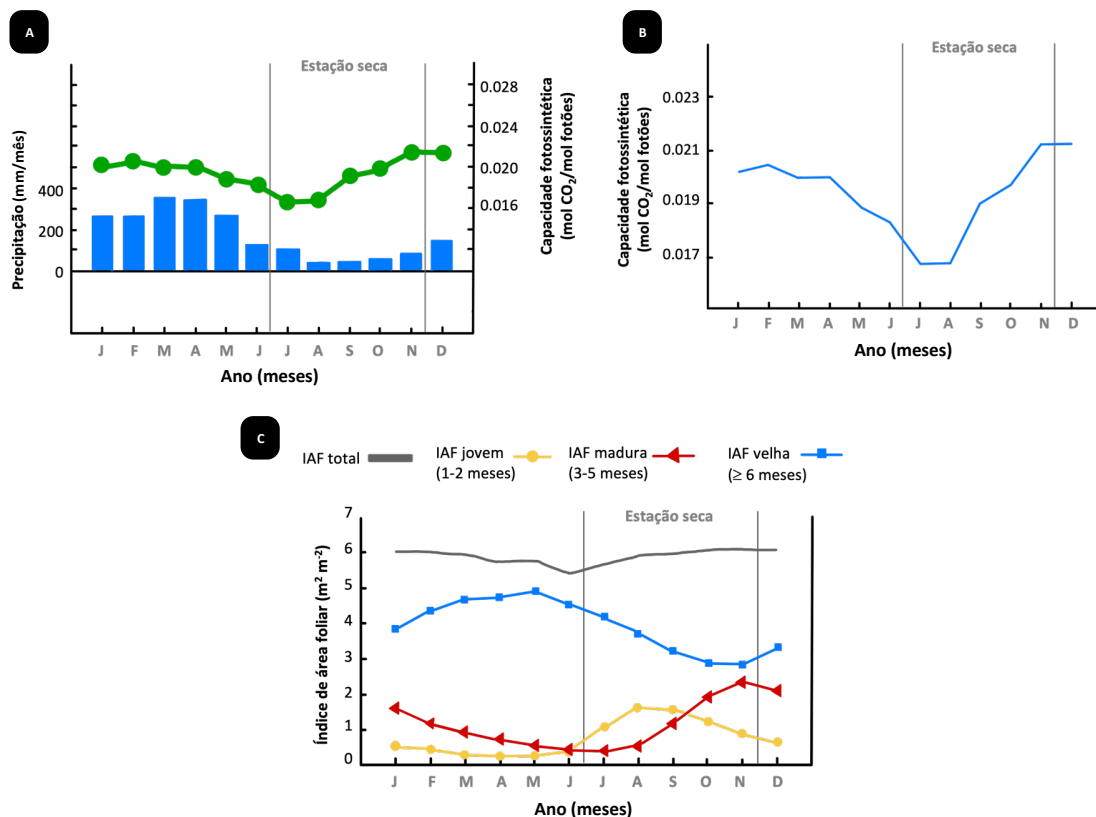


Figura 3 – Estudo realizado, ao longo do ano, na Floresta Nacional do Tapajós. **(A)** Precipitação e capacidade fotossintética; **(B)** Capacidade fotossintética (CF); **(C)** Índice de área foliar (IAF) total e de cada tipo de folha. Adaptado de Wu et al. (2016). Leaf development and demography explain photosynthetic seasonality in Amazon evergreen forests. *Science*, 351(6276), 972–976.

Adaptado de *From leaf to landscape*. (2017). biographic e Wu et al. (2016). Leaf development and demography explain photosynthetic seasonality in Amazon evergreen forests. *Science*, 351(6276), 972–976.

Questões

1. Refira a razão pela qual a equipa de cientistas esperava uma maior taxa fotossintética na estação húmida.
Na estação húmida há mais precipitação/disponibilidade de água, que é essencial à fotossíntese/é um dos intervenientes da fotossíntese.
2. Identifique qual dos três tipos de folhas apresenta mais clorofila. Justifique.
As folhas maduras apresentam mais clorofila porque possuem uma cor verde mais intensa.

Figura 41 (continuação) - Atividade prática de lápis e papel "A fotossíntese na Floresta Nacional do Tapajós, na Amazônia" e respetiva correção, realizada na turma 10.º B.

3. Com base nas características referidas, explique qual dos três tipos de folhas terá maior capacidade fotossintética.

Uma menor captação de CO₂ resulta numa menor capacidade fotossintética. Dado que as folhas velhas possuem estomas ineficientes, estas captam menos CO₂.

Uma folha com maior quantidade de clorofila possui uma maior capacidade fotossintética, logo as folhas com maior capacidade fotossintética são as maduras.

4. Relacione os índices de área foliar (IAF), em novembro, com a capacidade fotossintética (CF) registada no mesmo mês.

As folhas maduras, com maior capacidade fotossintética, atingem o seu pico máximo de área foliar em novembro, enquanto as folhas velhas atingem o seu valor mínimo.

Neste mês, a capacidade fotossintética atinge o seu máximo.

5. Explique, tendo em conta todos os dados fornecidos, porque é que existe uma maior capacidade fotossintética na estação seca.

Dado que as folhas maduras são as que possuem uma maior capacidade fotossintética e que a sua área foliar atinge o seu máximo durante a estação seca, é nesta estação que existe uma maior capacidade fotossintética.

6. Comente a seguinte frase: "A Floresta Nacional do Tapajós tem potencial para ser resiliente ao aquecimento global".

A floresta tem maior capacidade fotossintética na época seca/quando há menor disponibilidade de água. Tendo em conta que o aquecimento global está relacionado com um aumento da frequência e intensidade de períodos de seca, considera-se que esta floresta poderá estar mais bem preparada para lidar com os efeitos do aquecimento global.

Nome: _____ Ano/Turma: _____

Figura 41 (continuação) - Atividade prática de lápis e papel "A fotossíntese na Floresta Nacional do Tapajós, na Amazônia" e respetiva correção, realizada na turma 10.º B.

A outra atividade de Biologia, intitulada “Fatores limitantes da fotossíntese”, encontrava-se dividida em duas partes. A primeira era de tipo laboratorial experimental e requeria que os alunos testassem o efeito da ausência de três fatores limitantes na realização da fotossíntese. Esta primeira parte atividade foi realizada em grupos de quatro alunos, sendo que cada grupo esteve responsável apenas por um fator limitante. Os resultados dos diversos grupos foram partilhados numa tabela preenchida no quadro, para que todos os alunos tivessem acesso à partilha de informação. No final desta parte da atividade, os alunos fizeram um “V de Gowin”. Esta atividade foi planificada para ser iniciada no final de uma aula de 100 minutos, na qual foi feita a montagem experimental, e terminada na aula seguinte, uns dias depois, para que houvesse tempo de haver produção de amido (Fig. 42 e 43).

A segunda parte da atividade foi baseada numa simulação digital que permitiu que os alunos manipulassem as condições ecológicas a que está sujeita uma planta aquática, nomeadamente, a temperatura, a pressão de CO₂, a intensidade luminosa e o comprimento de onda da luz. Optou-se por uma simulação digital, por se considerar que esta promovia a motivação e o interesse dos alunos, e, de forma complementar à primeira parte da atividade, também permitia a manipulação de fatores que dificilmente seria concretizável em sala de aula.

Tendo em conta a natureza digital da simulação, considerou-se pertinente a escolha de um formato digital para a ficha da atividade, tendo sido criada de forma a ser interativa, com um *link* para a simulação e espaços dedicados às respostas e aos gráficos. Esta ficha foi disponibilizada no *Google Docs* através do *Google Classroom*, onde também foi submetida, e pode ser consultada neste formato [aqui](#) ou na figura 44. Foram requisitados computadores na escola, para evitar que os alunos tivessem de trazer equipamentos portáteis de casa, caso os tivessem disponíveis. Esta parte da atividade decorreu a seguir à anterior e foi realizada na mesma dinâmica de grupos.



Figura 42 - Detecção do amido em folhas de sardineira, na presença e ausência de luz solar, durante a atividade prática laboratorial experimental "Fatores limitantes da fotossíntese - parte I".

Atividade prática laboratorial experimental **Fatores limitantes da fotossíntese - parte I**

Introdução

O amido é uma substância estável e insolúvel, sendo o principal glícido de reserva presente nas células das plantas. O soluto de Lugol é um indicador do amido. Na presença de amido, o soluto de Lugol (de tom amarelado) torna-se tom azul-escuro. Nesta atividade vai explorar a importância da luz, do dióxido de carbono (CO₂) e dos pigmentos fotossintéticos (clorofila) para a realização da fotossíntese, através da deteção de amido.

A atividade está dividida em duas partes: a montagem experimental, a ser realizada nesta aula, e a deteção de amido, a ser feita na aula seguinte.

Antes da realização da atividade, as plantas deverão ficar 48 h num ambiente escuro.

Experiência A – Luz

Material/grupo

- Cartolina (1)
- Clips (2)
- Sardinheira (*Pelargonium zonale*) (1)
- Tesoura (1)

Procedimento

1. Cobrir uma folha, utilizando a cartolina e os clips (fig. 1).
2. Colocar a planta exposta à luz durante 24 h.
3. Cortar, com uma tesoura, a folha coberta e uma destapada (controlo).
4. Detetar a presença de amido nas 2 folhas (ver procedimento nas páginas 3 e 4).



Figura 1 – Esquema de montagem da experiência A. Retirado de Biology Notes for IGCSE 2014 & 2022.

Experiência B – CO₂

Material/grupo

- Frasco (1)
- Hidróxido de sódio (NaOH, 3 ml)
- Película aderente
- Sardinheira (*Pelargonium zonale*), a mesma da fase A
- Suporte (1)
- Tabuleiro (1)
- Tesoura (1)

Procedimento

1. Colocar uma folha dentro de um frasco com hidróxido de sódio (NaOH), sem a folha tocar no líquido (fig. 2).
2. Selar o frasco com película aderente à volta do pecíolo, com cuidado.
3. Deixar a planta exposta à luz durante 24 h.
4. Cortar, com uma tesoura, a folha que ficou dentro do frasco e uma outra que ficou fora do frasco (controlo).
5. Detetar a presença de amido nas 2 folhas (ver procedimento nas páginas 3 e 4).



Figura 2 – Fotografia da montagem da experiência B.

Fase C – Clorofila

Material/grupo

- Hera (*Hedera helix*, fig.3A)
- Hera (*Hedera hibernica*, fig. 3B)
- Tesoura (1)

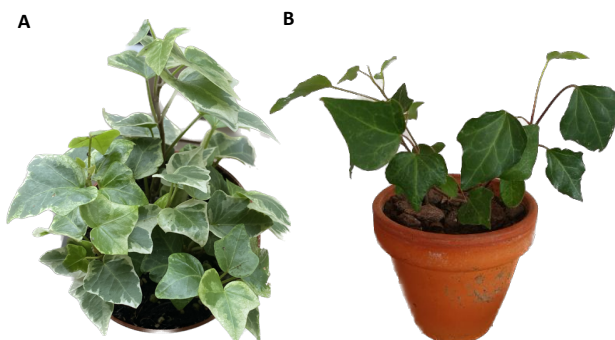


Figura 3 – Hera com folhas variegadas (A) e com folhas não variegadas (B).

Procedimento

1. Colocar as plantas expostas à luz solar durante 24 h.
2. Cortar, com uma tesoura, uma folha de cada planta.
3. Detetar a presença de amido nas 2 folhas (ver procedimento nas páginas 3 e 4).

Detecção de Amido

Proceder à deteção de amido em **cada uma das folhas de cada experiência.**

Material

- Água (320 ml)
- Caixa de Petri 100 mm Ø (2/experiência)
- Etanol 96%
- Fósforos
- Gobelé de 400 ml (1)
- Lamparina de álcool (1)
- Pinça (1)
- Soluto de Lugol 2%
- Suporte (1)
- Suporte de tubos de ensaio (1)
- Tina de vidro 100 mm Ø (1)
- Tubos de ensaio 20 mm Ø (2/experiência)
- Vareta (1)

Procedimento (fig. 4)

1. Colocar 320 ml de água no gobelé, acender a lamparina de álcool e colocar o gobelé no suporte sobre a lamparina.

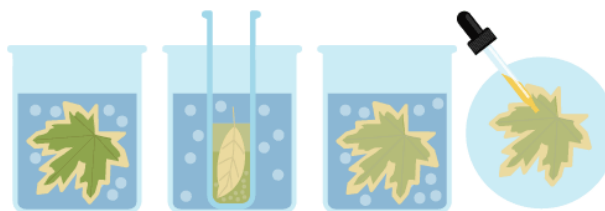


Figura 4 - Esquema do procedimento laboratorial de deteção de amido em folhas. Retirado de BBC Bitesize.

2. Colocar a folha em água a ferver durante 1 minuto.
3. Retirar a folha, com uma pinça, e colocá-la no fundo de um tubo de ensaio com auxílio da vareta.
4. Colocar etanol no tubo de ensaio até cobrir a folha.
5. Colocar o tubo de ensaio em banho-maria no gobelé, aquecendo-o até que a folha tenha uma cor esbranquiçada.
6. Remover o tubo de ensaio do gobelé e retirar cuidadosamente a folha do tubo de ensaio com a ajuda da vareta.
7. Pegar na folha com uma pinça e passar a folha por água na tina de vidro.
8. Transferir a folha para uma caixa de Petri e cobrir com soluto de Lugol.
9. Registrar as observações, para cada folha, através de fotografia e na tabela I.
10. Preencher o "V de Gowin".
11. Responder às questões.

Tabela I - Registo de resultados das experiências A (luz), B (CO₂) e C (clorofila).

Soluto de Lugol Experiência	Azul-escuro (presença de amido)	Amarelo/laranja (ausência de amido)
A	Folha exposta (Controlo)	Folha coberta
B	Folha fora do frasco (Controlo)	Folha dentro do frasco
C	Folha verde (Controlo)	Zona branca da folha variegada

Figura 43 (continuação) - Atividade prática laboratorial experimental "Fatores limitantes da fotossíntese - parte I" e respetiva correção, aplicada à turma 10.º B.

Questões

1. Identifique, para cada experiência, a variável dependente e as variáveis independentes.

Variável dependente: presença de amido.

Variáveis independentes: presença de CO₂; presença de luz; presença de clorofila.

2. Justifique a necessidade de manter as plantas no escuro durante 48 h previamente à experiência.

Na ausência de luz, não ocorre fotossíntese durante as 48 h, o que permite a remoção do amido existente previamente nas folhas. Isto é para garantir que o amido detetado é proveniente da situação experimental e não prévio a esta.

3. O etanol é um solvente orgânico capaz de remover a clorofila das folhas. Explique a necessidade deste passo na deteção do amido.

A cor da clorofila interfere na observação de mudança de cor da folha devido à presença de amido.

4. Explique porque se detetou o amido em vez da glicose.

A glicose formada durante a fotossíntese é transformada em amido. Logo, o amido é um produto estável que pode ser detetado pelo soluto de Lugol.

5. Tendo em conta os resultados, infira sobre qual é a função do NaOH na experiência B.

Na experiência B, que diz respeito à importância do CO₂ para a realização da fotossíntese, não se detetou amido na parte da folha dentro do frasco com NaOH, o que indica que essa parte da folha não realizou fotossíntese. Logo, o NaOH absorve o CO₂ presente no frasco.

6. Refira por que não é necessária uma preparação e montagem na experiência C.

As folhas variegadas não possuem clorofila nas zonas brancas.

Figura 43 (continuação) - Atividade prática laboratorial experimental "Fatores limitantes da fotossíntese - parte I" e respetiva correção, aplicada à turma 10.º B.

Adaptado de:

Investigations for photosynthesis - chlorophyll, light, carbon dioxide. (10 de maio de 2021). Biology Notes for IGCSE 2014 & 2022.

<http://igbiologyy.blogspot.com/2021/05/blog-post.html>

Photosynthesis investigations - principles and starch test. (31 de dezembro de 2012). Biology Notes for IGCSE 2014 & 2022.

<http://igbiologyy.blogspot.com/2012/12/factors-needed-for-photosynthesis.html>

Raju's Natural Science Academy. (16 de fevereiro de 2019). *CO2 is essential for photosynthesis experiment* [Vídeo]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=R1YXMRdPOXw>

Figura 43 (continuação) - Atividade prática laboratorial experimental "Fatores limitantes da fotossíntese - parte I" e respectiva correção, aplicada à turma 10.º B.

Atividade prática de simulação Fatores limitantes da fotossíntese - parte II

Na parte I desta atividade explorou a influência da presença/ausência de fatores (luz, CO₂ e clorofila) limitantes da fotossíntese. Agora, vai explorar de que forma a temperatura, a pressão de dióxido de carbono (CO₂) e a intensidade luminosa limitam a fotossíntese. Neste simulador, pode manipular estas variáveis e registar os resultados num gráfico (fig. 1). Após preenchimento, o ficheiro deve ser guardado ao carregar no ícone da câmara fotográfica junto ao gráfico ou copiando a imagem.

Simulação

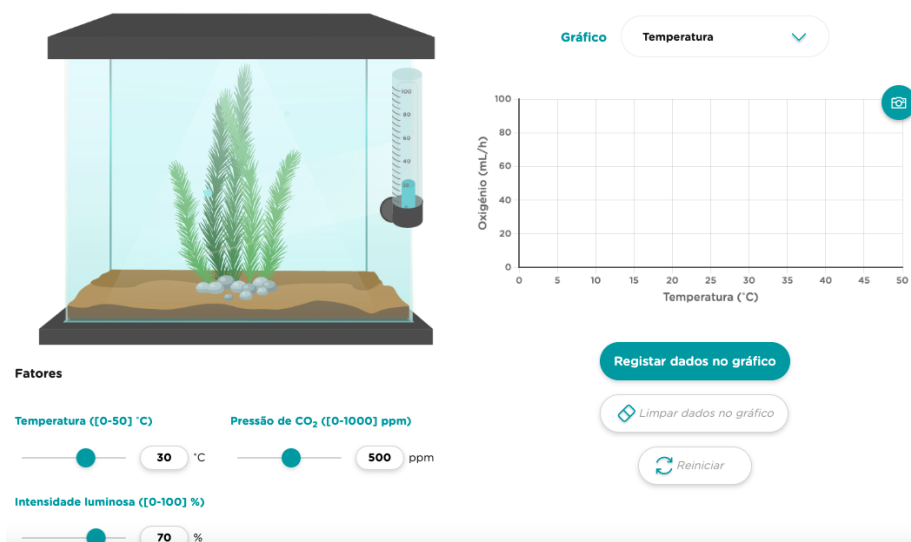
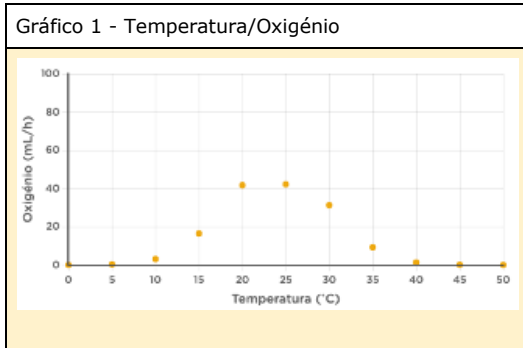


Figura 1 - Simulação do efeito limitante dos fatores temperatura, pressão de CO₂, intensidade luminosa e comprimento de onda na atividade fotossintética de uma planta aquática.

1. Seleccionar "luz branca".
2. Seleccionar o gráfico da "temperatura".

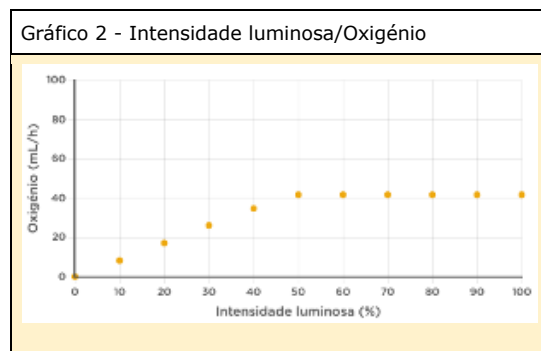
3. Variar a temperatura, mantendo os níveis de pressão de CO₂ e de intensidade luminosa (por exemplo, CO₂ = 500 ppm; intensidade luminosa = 50%). Começar em 0 °C e registrar os dados de 5 em 5 °C. Guardar e apresentar o gráfico na caixa abaixo.



Registrar a conclusão que pode tirar destes resultados.

O aumento da temperatura permite aumentar a taxa fotossintética (quantidade de O₂ libertado) até um valor máximo (entre 20 e 25 °C). A partir daí, à medida que se aumenta a temperatura, verifica-se também um decréscimo gradual da taxa fotossintética.

4. Carregar em "limpar dados no gráfico".
5. Selecionar o gráfico da "intensidade luminosa".
6. Variar os níveis de intensidade luminosa, mantendo os valores da temperatura (20 °C) e de CO₂ (800 ppm). Começar em 0% e registrar os dados de 10 em 10%. Guardar e apresentar o gráfico na caixa abaixo.



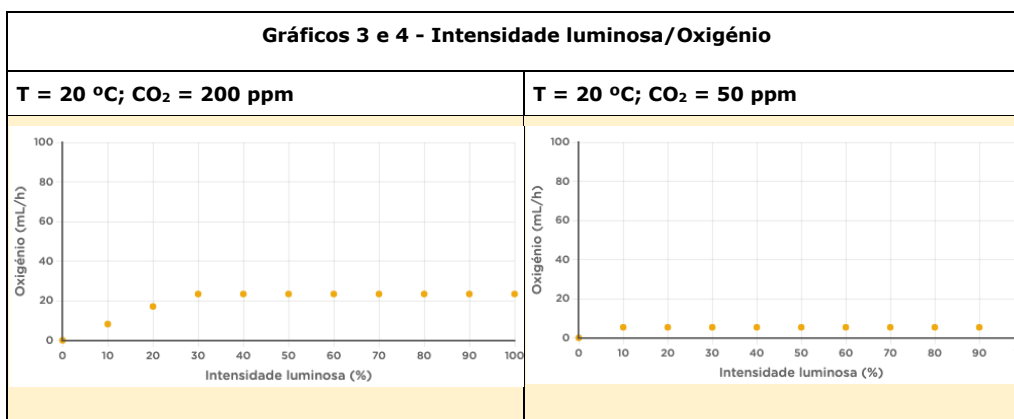
2

Figura 44 (continuação) - Atividade prática de simulação "Fatores limitantes da fotossíntese - parte II" e respetiva correção, realizada na turma 10.º B.

Registrar a conclusão que pode tirar destes resultados.

Para valores de temperatura de 20 °C e de pressão de CO₂ de 800 ppm, o aumento da intensidade luminosa até 50% faz aumentar a taxa de fotossíntese. Para intensidades luminosas superiores, a taxa fotossintética mantém-se constante.

6.1. Repetir o procedimento no passo 6, a 20 °C, com CO₂ = 200 ppm e depois a 20 °C, com CO₂ = 50 ppm. Registrar os resultados e guardar e apresentar os respetivos gráficos nas caixas abaixo.



6.1.1. Tendo em conta os dados dos gráficos 2, 3 e 4, explicar o que se pode inferir relativamente à influência da pressão de CO₂ na taxa fotossintética.

Tendo em conta os resultados representados nos gráficos 2, 3 e 4, pode inferir-se que a pressão de CO₂ atua como fator limitante da atividade fotossintética.

3

Figura 44 (continuação) - Atividade prática de simulação "Fatores limitantes da fotossíntese - parte II" e respetiva correção, realizada na turma 10.º B.

7. Carregar em "Reiniciar".
8. Selecionar "comprimento de onda da luz visível" e selecionar o gráfico "comprimento de onda".
9. Variar o comprimento de onda, mantendo a temperatura, a intensidade luminosa e a pressão de CO₂. Começar em 400 nm e registrar os dados de 10 em 10 nm. Guardar e apresentar o gráfico na caixa abaixo.

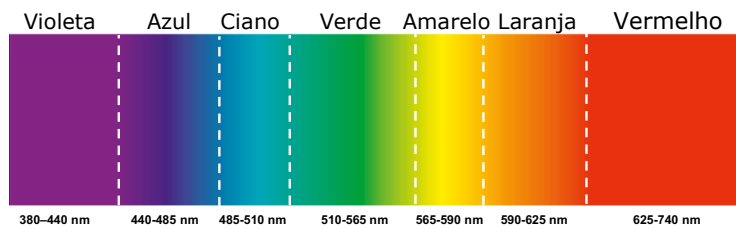
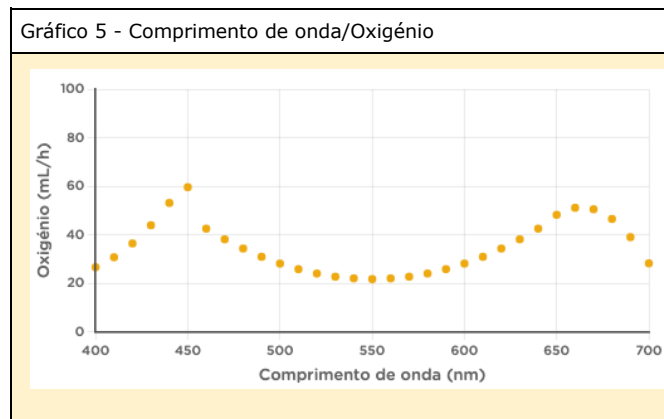


Figura 2 - Espectro da luz visível. Adaptado de Experimenta 8, Porto Editora.

- 9.1. Baseando-se na informação do gráfico 5 e da figura 2, indicar quais as zonas do espectro visível onde a taxa fotossintética é...

mais elevada: Violeta-azul e vermelho

mais baixa: Verde-amarelo

Adaptado de:

Leya. (n.d.). *Fatores que influenciam a fotossíntese: Aula digital*. Aula Digital.
<https://tinyurl.com/bcrjx6sf>

Matias, O., & Martins, P. (2021). *Atividade experimental - simulador de fotossíntese: Guia de exploração*. Areal Editores.

Figura 44 (continuação) - Atividade prática de simulação "Fatores limitantes da fotossíntese - parte II" e respetiva correção, realizada na turma 10.º B.

3.4.4. Analogias

Recorreu-se ao uso de analogias tanto na Geologia como na Biologia, como forma de facilitar a compreensão de novos conceitos, partindo de algo familiar aos alunos. No “Vulcanismo”, a relação da desgaseificação do magma com o alívio de pressão que este sofre, foi explicada através da comparação com a abertura de uma lata de bebida gaseificada.

No caso da Biologia, foram usadas três analogias. Com o intuito de explicar aos alunos a função do ATP numa perspetiva que fizesse sentido e que fosse facilmente integrada por eles, utilizou-se um *power bank* como exemplo. Trata-se de um dispositivo que todos os alunos conhecem, o qual precisam de carregar com energia elétrica para o poderem utilizar, posteriormente, para carregar o telemóvel. Para o reutilizar precisam de o voltar a carregar, à semelhança do ciclo do ATP. A outra analogia foi a de um lançamento de um balão de um lanço de escadas ou da mesma altura sem escadas, como analogia à cadeia transportadora de eletrões. Esta permite que os alunos entendam o porquê da existência da cadeia, da necessidade de libertação gradual de energia na célula, em vez de uma libertação repentina de toda a energia. Também, no sentido de compreender melhor a cadeia, os alunos foram questionados sobre o que faziam quando ficam sem eletricidade em casa, nomeadamente, se acendiam uma vela ou se usavam dinamite, ao que responderam que acendiam uma vela. Foi-lhes explicado que a vela possui oito vezes mais energia do que a dinamite e questionou-se a diferença entre os dois procedimentos, a nível energético, que justificava um resultado tão diferente.

3.4.5. Tabelas síntese e mapas de conceitos

Na leção da fotossíntese, no 10.º B, foram utilizadas duas tabelas síntese com o objetivo de promover uma compreensão holística do processo fotossintético, nomeadamente, que os alunos fossem capazes de identificar os compostos necessários à fotossíntese e qual a sua origem e o seu destino (Fig. 45). Na segunda tabela (Fig. 46), pretendeu-se que os alunos fossem capazes de identificar a energia e a matéria envolvidas no processo e de acompanharem o seu percurso ao longo das duas fases. As tabelas síntese foram implementadas no final da fase química, preenchidas individualmente e recolhidas pela professora estagiária. Foram, depois, corrigidas e devolvidas aos alunos, com a atribuição de uma classificação.

Os mapas de conceitos foram utilizados com propósitos distintos nas duas turmas. Na turma 10.º B apenas apoiaram a planificação das aulas (Fig. 47) e não se chegou a construir um mapa de conceitos com os alunos, por se considerar que outras estratégias seriam mais adequadas para os objetivos de aprendizagem, como, por exemplo, as tabelas síntese. Na turma 10.º A, os mapas não só apoiaram a planificação das aulas, como também foram construídos mapas em conjunto com os alunos na sala

de aula (Fig. 48). Em concreto, na primeira aula construiu-se um mapa de conceitos relativo ao vulcanismo primário, com o objetivo de diferenciar o vulcanismo do tipo central do de tipo fissural e identificar as principais características de cada um deles. Aquando do final da lecionação do vulcanismo secundário, construiu-se um novo mapa de conceitos, o qual permitiu diferenciar o vulcanismo primário do secundário, bem como as diferentes manifestações de vulcanismo secundário, promovendo assim a diferenciação conceptual.

Nome: _____ N.º _____ Classificação: _____

Tabela síntese

De onde vêm e para onde vão os intervenientes da fotossíntese?

Intervenientes/Produtos	Origem	Local de entrada na planta	Local de saída da planta
Luz	Sol	Folhas	-
H ₂ O	Solo	Raízes	-
CO ₂	Atmosfera	Estomas (folhas)	-
ATP	Fase fotoquímica	-	-
NADPH	Fase fotoquímica	-	-
O ₂	Fase fotoquímica	-	Estomas (folhas)
Glícidos	Fase química	-	-

TOTAL= 28 pontos

Figura 45 – Correção da tabela síntese "De onde vêm e para onde vão os intervenientes da fotossíntese?".

Nome: _____ N.º _____ Classificação: _____

Tabela síntese
Energia e matéria na fotossíntese

Parâmetros / Fase	Objetivo (Indicar o objetivo de cada fase)	Localização (Referir onde é que a fase ocorre numa célula eucariótica e numa célula procariótica)	Fonte de matéria (Identificar as moléculas que contribuem com matéria (ou átomos) para o processo)	Output de matéria (Identificar o destino de todos os átomos (C, O e H) dos <i>inputs</i> moleculares)	Fonte de energia (Identificar as fontes que conferem energia ao processo)	Output de energia (Mencionar o destino da energia que entra no sistema)	Outros (Mencionar outras moléculas importantes envolvidas no processo)
Fotoquímica	<i>Transformar a energia luminosa em energia química.</i> 2 pontos	<i>Tilacoides (eucariótica) Membrana celular (procariótica)</i> 2 pontos	<i>H₂O</i> 1 ponto	<i>H em NADPH e oxigénio</i> 2 pontos	<i>Luz solar</i> 1 ponto	<i>ATP e NADPH</i> 2 pontos	<i>Pigmentos fotossintéticos e ATP sintetase</i> 0,5 pontos
Química	<i>Usar a energia do ATP e os transportadores de elétrons para sintetizar glicose a partir de CO₂.</i> 2 pontos	<i>Estroma (eucariótica) Citosol (procariótica)</i> 2 pontos	<i>CO₂</i> 1 ponto	<i>Glícidos</i> 1 ponto	<i>ATP e NADPH</i> 2 pontos	<i>Glícidos</i> 1 ponto	<i>Rubisco</i> 0,5 pontos

TOTAL= 20 pontos

Figura 46 – Correção da tabela síntese "Energia e matéria na fotossíntese".

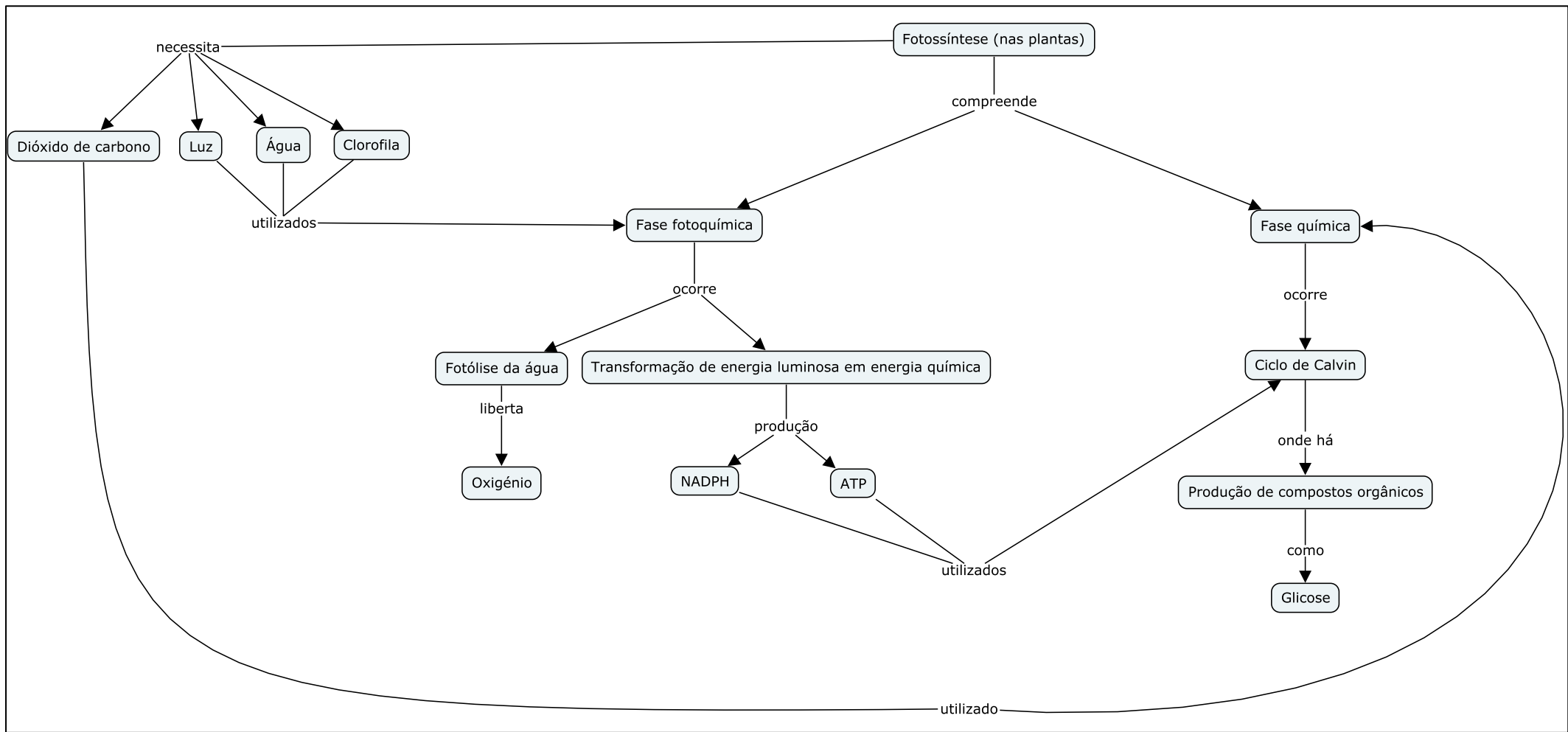


Figura 47 - Mapa de conceitos "Fotossíntese".

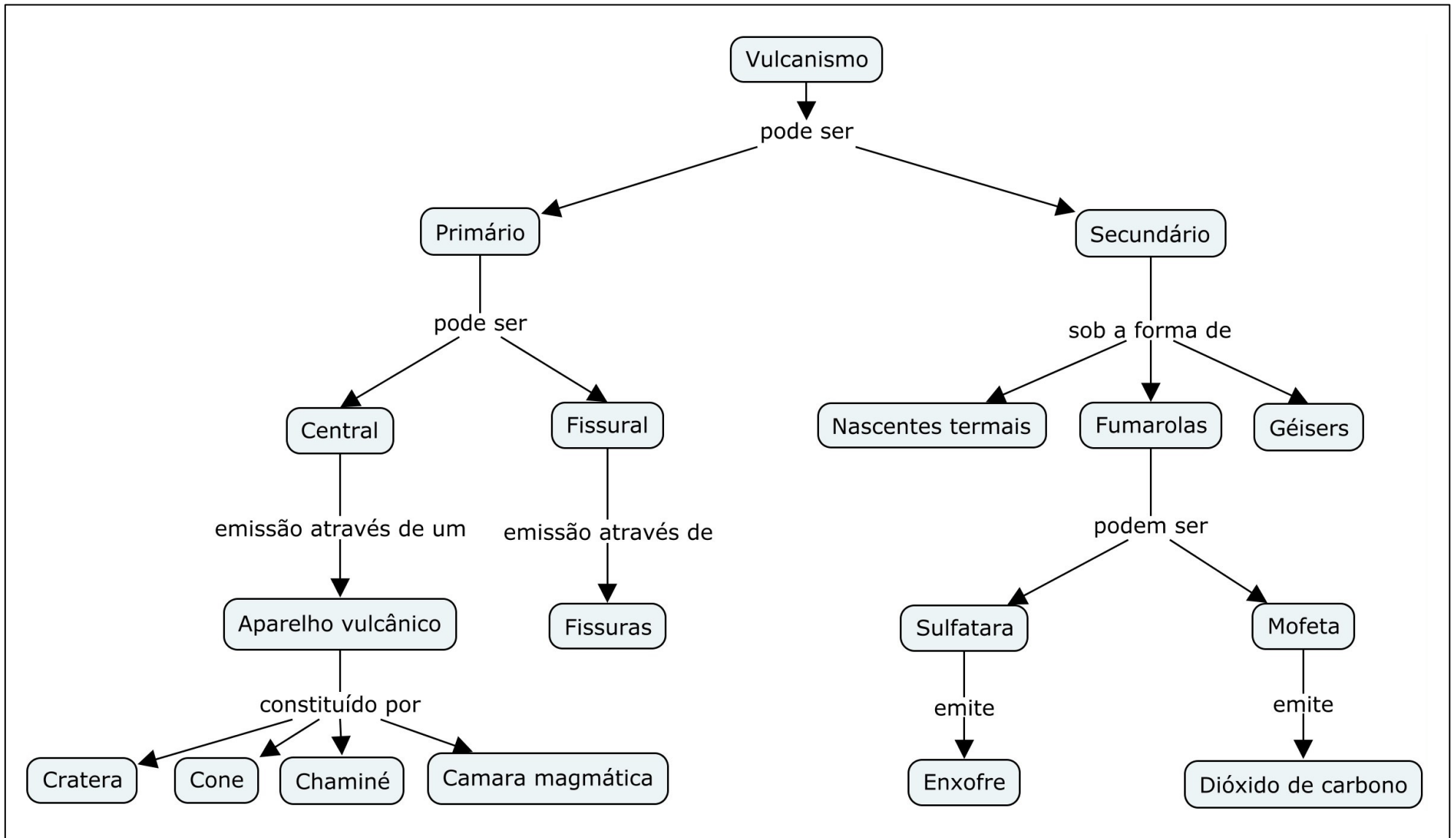


Figura 48 - Mapa de conceitos "Vulcanismo primário e secundário".

3.4.6. “V de Gowin”

As atividades “Pontos quentes: Janelas para o interior da Terra” da turma 10.º A e “Fatores limitantes da fotossíntese – parte I” da turma 10.º B, contemplaram a realização de um relatório em formato “V de Gowin”, como forma dos alunos compreenderem o que fizeram, de que forma isso se relaciona com a matéria já lecionada e que conclusões podem tirar da atividade. O professor orientador cooperante optou também por implementar a atividade da Geologia na turma 10.º B, tendo esta sido conduzida pela professora estagiária e na qual também foi realizado um “V de Gowin”. O “V de Gowin” desta atividade, cuja proposta de resolução se indica na figura 49, foi relativo apenas à viscosidade e desgaseificação do magma. Como ambas as turmas nunca tinham realizado um relatório nesta modalidade, foi-lhes apresentado um exemplo e explicada a função e o que se pretendia de cada parte do “V de Gowin”. O V de Gowin de Biologia da turma 10.º B incidiu sobre os fatores limitantes da fotossíntese, embora cada aluno apenas tenha contemplado, no relatório, o fator abordado pelo seu grupo. A proposta de resolução, apresentada na figura 50, contempla os três fatores, mas apenas aparece a montagem experimental relativa a um deles por uma questão de espaço.

A correção dos relatórios implicou o ajuste de alguns critérios, de forma a valorizar algumas respostas dos alunos que não tinham sido contempladas inicialmente pela professora estagiária, aquando da sua criação. No caso específico dos alunos estrangeiros da turma 10.º B, não houve penalização relativamente à organização de ideias e rigor científico nos princípios teóricos e na conclusão, mesmo no caso dos alunos brasileiros, que partilham a mesma língua materna, por se considerar que existem diferenças significativas entre as duas variações da língua e que eles ainda não se encontravam habituados à terminologia científica portuguesa. Não obstante, os erros foram assinalados nos relatórios, para que os alunos os reconhecessem como tal e os pudessem corrigir gradualmente, assumindo assim um carácter formativo.

Os critérios de correção dos relatórios “V de Gowin” da Geologia e da Biologia podem ser consultados nos anexos II e III, respetivamente.

Nome: _____ Nº _____ Classificação: _____

Princípios teóricos

- Diferentes magmas possuem diferente teor em gases.
- Na sua ascensão o magma sofre desgaseificação – ocorre libertação dos gases – e transforma-se em lava quando atinge a superfície.
- Alguns magmas libertam os gases mais facilmente do que outros.
- A viscosidade é a resistência que um fluido apresenta ao escoamento.

Conceitos: Ascensão; desgaseificação; magma; viscosidade.

Procedimento

Viscosidade:

1. Medir a altura do gobelé;
2. Largar um berlinde no magma A;
3. Cronometrar o tempo que demora a atingir o fundo do gobelé;
4. Repetir para o magma B;
5. Calcular a taxa de queda do berlinde.

Desgaseificação:

1. Soprar com uma palhinha no magma A até formar bolhas;
2. Observar e registar a facilidade com que as bolhas se libertam;
3. Repetir para o magma B.

Questão problema

De que forma é que a viscosidade afeta as características de um magma?

Conclusões

O berlinde demora mais tempo a atingir o fundo do gobelé no magma A.

Isto quer dizer que este magma apresenta uma maior resistência ao movimento, logo é mais viscoso do que o B.

Foi mais difícil criar bolhas e estas demoraram mais tempo a libertar-se no magma A, comparativamente ao magma B.

Uma maior viscosidade leva a que os gases tenham maior dificuldade em libertar-se.

Registos e transformações de dados

Tabela 1 – Resultados da viscosidade

Magma	Distância vertical que o berlinde percorre (cm)	Tempo que o berlinde demora a atingir o fundo do gobelé (s)	Taxa de queda do berlinde (cm/s)
A	10	12	0,83
B	10	2	5

Tabela 2 – Resultados da desgaseificação

Magma	Força relativa necessária para criar bolhas	Facilidade com que as bolhas se libertam
A	É necessária mais força	Bolhas não se libertam tão facilmente
B	É necessária menos força	Bolhas libertam-se com facilidade

Nome: _____ N.º _____ Classificação: _____

Princípios teóricos

- A fotossíntese é um processo autotrófico, utilizado para produzir compostos orgânicos, aproveitando a luz como fonte de energia.
- A luz, a clorofila e o dióxido de carbono são necessários para que ocorra fotossíntese.
- A clorofila é um pigmento fotossintético capaz de absorver luz.
- A glicose produzida é transformada em amido, um glícido de reserva.

Conceitos: Amido; clorofila; dióxido de carbono; fotossíntese; luz.

Procedimento

Montagem experimental:

1. Cobrir uma folha com cartolina presa por cliques.
2. Colocar a planta exposta à luz.
3. Cortar, com a tesoura, a folha que esteve coberta e uma outra exposta à luz.

Detecção de amido:

1. Colocar a folha em água a ferver.
2. Colocar a folha em etanol, em banho-maria.
3. Passar a folha por água.
4. Colocar a folha na caixa de Petri.
5. Colocar soluto de Iodol na folha.

Questão problema

A luz, a clorofila e o dióxido de carbono são fatores limitantes da fotossíntese?

Conclusões

Na experiência A, não se detetou amido na folha coberta com cartolina, não exposta à luz.

Na experiência B não se detetou amido na folha dentro do frasco, sem CO₂.

Na experiência C, na folha variegada, detetou-se amido nas zonas verdes (com clorofila), mas não se detetou nas zonas esbranquiçadas (sem clorofila).

Isto significa que na ausência de luz, dióxido de carbono e clorofila não ocorreu fotossíntese, ou seja, são fatores limitantes da fotossíntese.

Registo de dados

Tabela I – Registo de resultados das experiências [A (luz), B (CO₂) e C (clorofila)].

Experiência	Soluto de Lugol	
	Azul-escuro (presença de amido)	Amarelo/laranja (ausência de amido)
A	Folha exposta (Controlo)	Folha coberta
B	Folha fora do frasco (Controlo)	Folha dentro do frasco
C	Folha verde (Controlo)	Zona branca da folha variegada

Figura 50 - Proposta de resolução do relatório "V de Gowin" relativo à atividade prática laboratorial experimental "Fatores limitantes da fotossíntese – parte I".

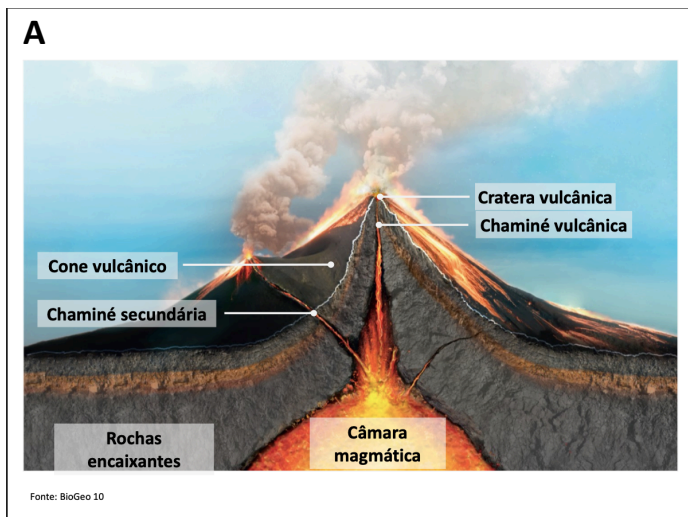
3.4.7. TIC

3.4.7.1. PowerPoint

A saturação a que os alunos estão sujeitos, fruto da utilização do *PowerPoint* em todas as disciplinas, contribui para a diminuição do efeito desejado ao nível das aprendizagens e interesse revelado pelas matérias abordadas em contexto de sala de aula. Neste sentido, o *software* foi apenas utilizado quando necessário e de forma interativa, de modo que exigisse a participação dos alunos. Os diapositivos foram usados como meio de apoio visual de processos mais abstratos e como ponto de partida para construir ou legendar esquemas em conjunto com os alunos, sendo a quantidade de informação textual muito diminuta. Teve-se o cuidado de experimentar os diapositivos no projetor da sala de aula e de ajustar previamente as cores e tamanho dos esquemas e do texto, para garantir e otimizar a sua visibilidade.

Nas aulas de “Vulcanismo da turma 10.º A, alguns diapositivos continham espaços a serem preenchidos pelos alunos (Figs. 51A e 51B), sendo que um deles continha um modelo 3D que demonstrava o movimento relativo de uma placa tectónica sobre uma pluma mantélica e a consequente formação de vários vulcões (Fig. 51E), enquanto outros diapositivos continham questões a fazer aos alunos (Fig. 51F). No caso de diapositivos como o “C”, estes continham transições que focavam pormenores e voltavam à imagem original, não perdendo a noção do todo.

Nas aulas de fotossíntese da turma 10.º B, vários diapositivos apresentavam a informação de forma gradual e segmentada, permitindo focar em pontos específicos e não sobrecarregar os alunos com informação (Fig. 52B). No caso do diapositivo “D”, o esquema começou apenas com os fotossistemas, e foi sendo construído à medida que era explicado aos alunos, através de animações. O esquema do diapositivo “E” foi analisado por secções, ao invés da imagem toda de uma vez, recorrendo outra vez a transições que permitiam deslizar ao longo dessa imagem, e completado pelos alunos. Por fim, para analisar o ciclo de Calvin (Fig. 52F), observou-se primeiro a visão geral desse ciclo e, depois, foi-se fazendo o percurso ao longo do ciclo, de forma segmentada.



B

Tipo de erupção	Tipo de lava	Produtos da atividade vulcânica	Tipo de edifício vulcânico
Efusiva			
Mista			
Explosiva			

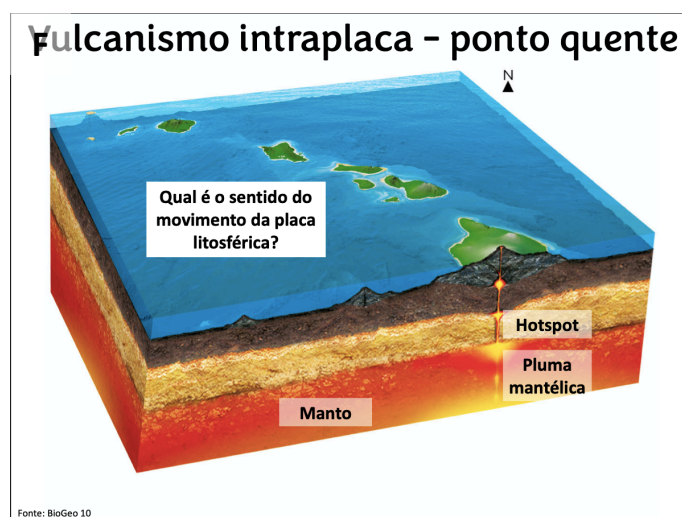
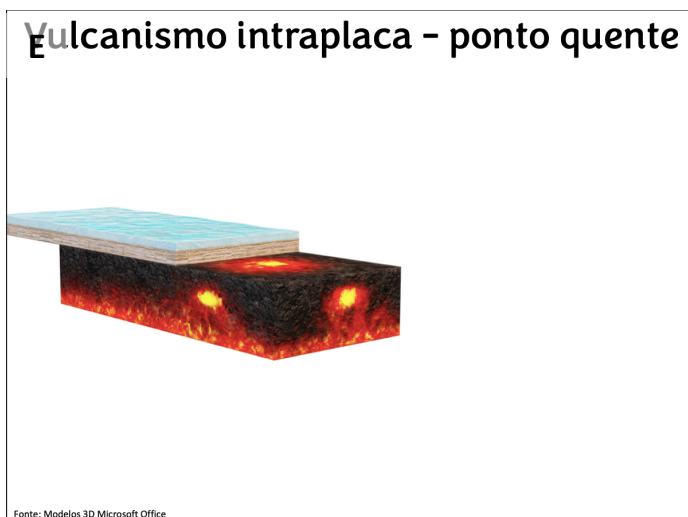
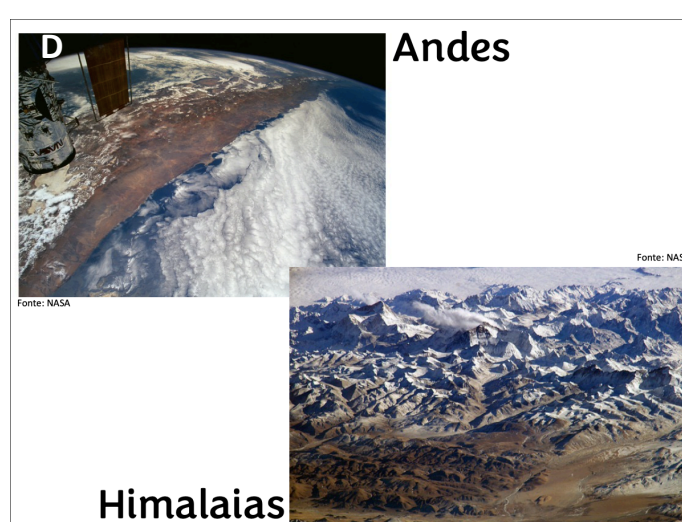
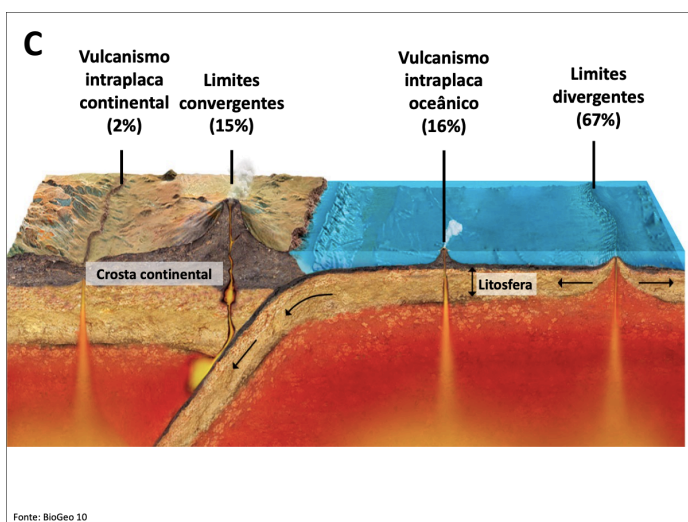


Figura 51 - Exemplos de diapositivos de PowerPoint utilizados nas aulas de "Vulcanismo". **A** – Anatomia de um vulcão; **B** – Tabela sobre as características de cada tipo de erupção; **C** - Esquema dos diferentes tipos de vulcanismo associados ao movimento e limites das placas tectônicas; **D** – Imagens das cordilheiras montanhosas dos Andes e dos Himalaias. **E** – Modelo 3D interativo do Office 365 de um ponto quente; **F** – Esquema do ponto quente que originou as ilhas do arquipélago do Havai.

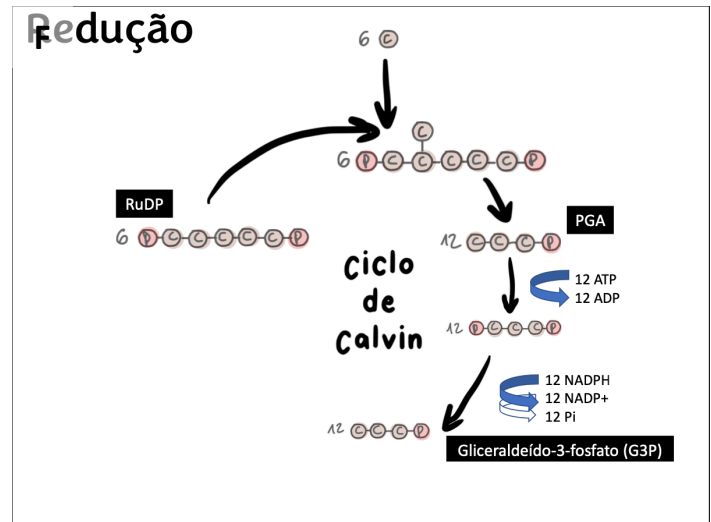
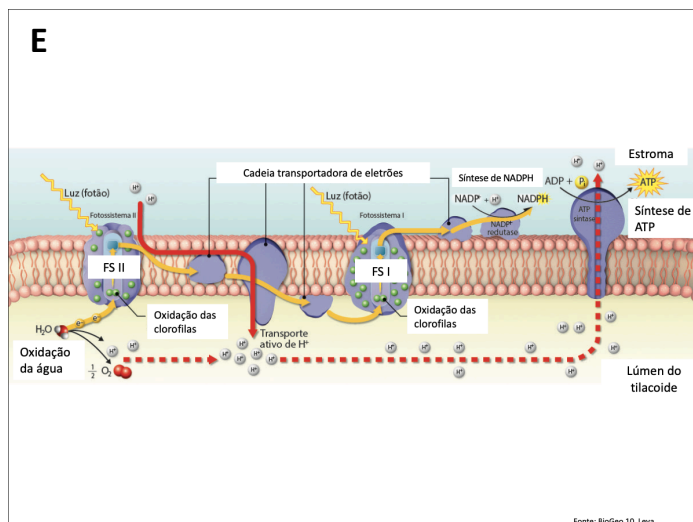
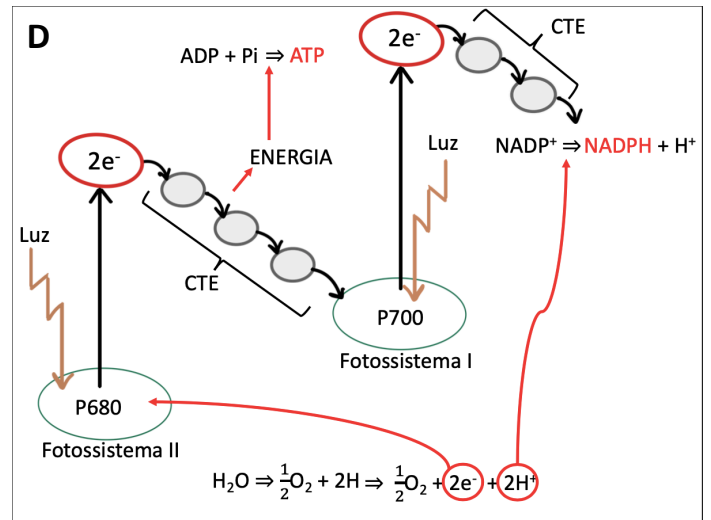
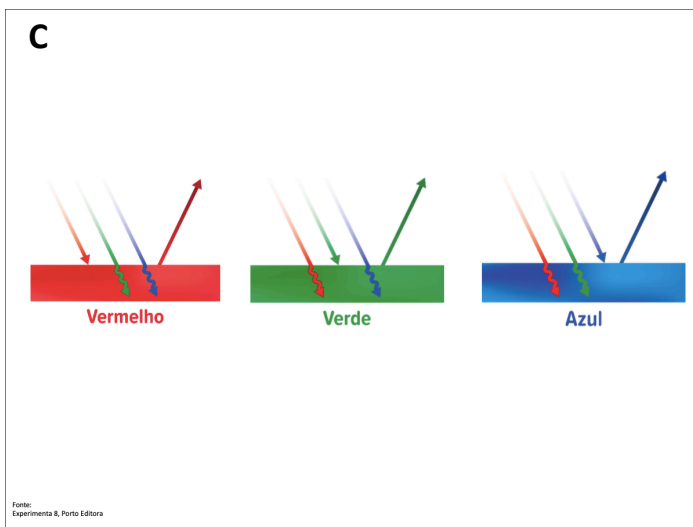
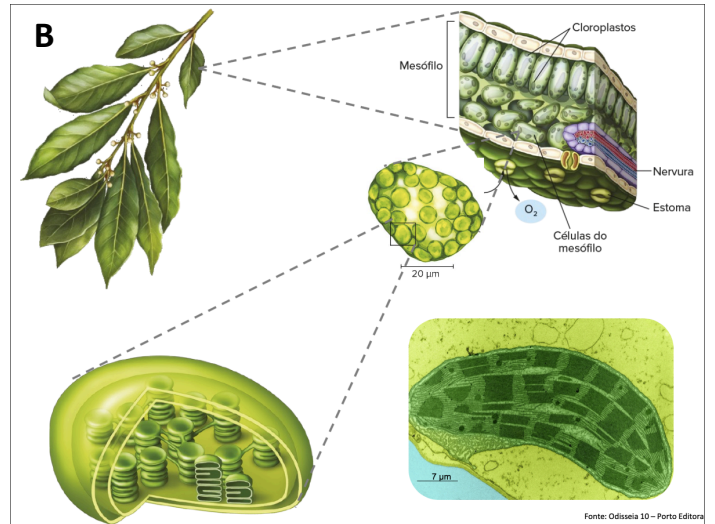


Figura 52 - Exemplos de diapositivos de *PowerPoint* utilizados nas aulas de "Obtenção de matéria pelos seres autotróficos". **A** – Representação de um ser autotrófico e um ser heterotrófico; **B** – Níveis de organização da folha; **C** – Reflexão e absorção de diferentes comprimentos de onda em superfícies de cor diferente; **D** – Esquema Z da fase fotoquímica da fotossíntese; **E** – Esquema da fase fotoquímica da fotossíntese na membrana do tilacoide; **F** – Esquema do ciclo de Calvin.

3.4.7.2. Plickers

No início da terceira aula assistida da turma 10.º B, relativa à “Obtenção de matéria pelos seres autotróficos”, considerou-se pertinente a resolução de questões sobre os tópicos lecionados nas duas aulas anteriores e considerados como bases para a matéria seguinte. O objetivo foi fazer um ponto da situação dos conhecimentos adquiridos pelos alunos até aqui. Inicialmente, os alunos responderiam a questões de escolha múltipla do manual; no entanto, tratando-se de uma aula que se iniciava às 17:35, optou-se por fazer as questões de uma forma mais interativa e motivadora para os alunos.

Por isso, recorreu-se à aplicação *Plickers* para a realização de um *quiz* em que os alunos participaram com os seus cartões, para responderem às questões projetadas (Fig. 53). Para cada questão, após o registo das respostas, a professora estagiária revelou a percentagem de alunos que escolheram cada opção, o que gerou discussão e argumentação sobre qual a resposta correta, que era, de seguida, revelada pela docente.

1

Considerando a equação geral da fotossíntese, pode-se dizer que os produtos da reação são:

A oxigénio, dióxido de carbono e água B oxigénio e dióxido de carbono
C água e dióxido de carbono D compostos orgânicos, oxigénio e água


2

Os materiais necessários para o crescimento das plantas são, essencialmente, conseguidos a partir...

A da água e dos sais minerais do solo B da água do solo e do dióxido de carbono atmosférico
C do dióxido de carbono atmosférico e dos sais minerais do solo D do vapor de água e do dióxido de carbono existente na atmosfera

3

Os seres autotróficos incluem...



A apenas algas e bactérias B apenas plantas e algas
C plantas, algas e bactérias D apenas plantas e bactérias

4

Selecione a opção que estabelece a sequência de termos correta em ordem crescente de complexidade.

A. Mesófilo foliar D. Tilacoide
B. Célula E. Cloroplasto
C. Clorofila

A E - A - B - D - C B C - D - B - E - A
C D - B - C - E - A D C - D - E - B - A

5

As plantas não utilizam a energia correspondente à radiação _____ porque _____ a luz desse comprimento de onda.

A verde ... refletem B verde ... absorvem
C vermelha ... refletem D vermelha ... absorvem

Figura 53 - Questões do questionário criado no *Plickers* e que foram projetadas aos alunos da turma 10.º A.

3.4.7.3. *iDoceo*

A professora estagiária concebeu, através do *iDoceo*, várias disposições dos alunos na sala de aula e no laboratório (Fig. 54), as quais possibilitaram conhecer melhor os alunos e formar grupos de trabalho para as atividades práticas. Procedeu, também, ao registo de observações (Fig. 55) e de pontuações e classificações obtidas pelos alunos, à definição de grupos de trabalho para as atividades práticas e à criação e utilização de rúbricas. Adicionalmente, gerou, durante um dos conselhos de turma do 10.º B, a versão digital da nova disposição dos alunos, que disponibilizou à diretora de turma para que todos os professores tivessem acesso.

As rubricas (Figs. 56 e 57) foram utilizadas durante as atividades práticas, para avaliar a capacidade dos alunos de realizarem as atividades, a responsabilidade e autonomia e o trabalho de grupo.

Como é possível verificar a partir da figura 56, foram adicionadas as competências do PASEO como competências-chave na aplicação e estas foram atribuídas a certas tarefas e aos critérios das rubricas (Fig. 57). As pontuações associadas a competências contribuíram para a evolução destas, que pode ser visualizada no gráfico através de cores ou valores, e permitiu analisar se os alunos estão a desenvolver as competências do PASEO (Fig. 58).

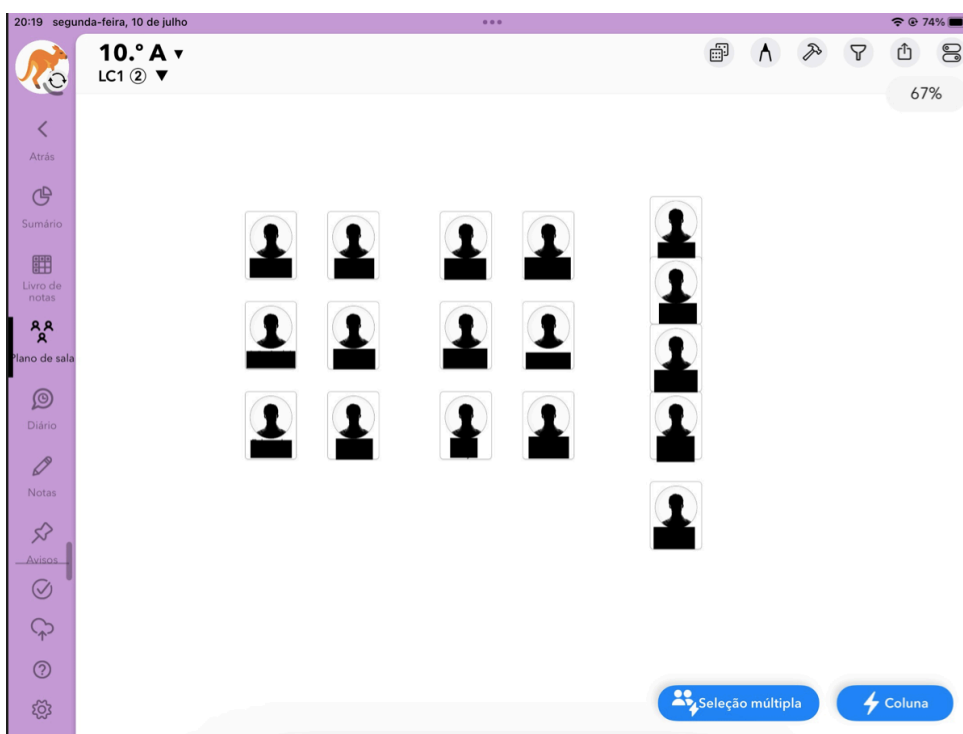


Figura 54 - Esquema da disposição dos alunos do 10.º A na sala de aula, na aplicação *iDoceo*.

17:07 terça-feira, 11 de julho

10.º A ▾ Livro de classificações

Assiduidade Comportamento Participação Material TPC V de Gowin

Assiduidade 18 Alunos

Modo grupo

	Assiduidade 08/11	Assiduidade 08/11	Assiduidade 09/11	Assiduidade 09/11	Assiduidade 10/11	Assiduidade 10/11	Assiduidade 13/11	Assiduidade 13/11	Assiduidade 14/11	Assiduidade 14/11
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓
17	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓

Este item foi eliminado e está agora no lixo Reciclar

Figura 55 - Grelha de registo da assiduidade dos alunos na aplicação *iDoceo*.

17:55 terça-feira, 11 de julho

10.º A ▾ Livro de classificações

Participação Material TPC V de Gowin Atividade 1.º Período

Atividade 18 Alunos

Hot Spots: Janela para o interior da Terra

Realização das pontuações Responsabilidade e autonomia Trabalho de grupo

CDI F E

	Realização das pontuações	Responsabilidade e autonomia	Trabalho de grupo
A Grupo			
16.67 10/12	4	3	3
18.33 11/12	4	3	4
18.33 11/12	4	3	4
18.33 11/12	4	3	4
B Grupo			
18.33 11/12	4	4	3
18.33 11/12	4	3	4
18.33 11/12	4	4	3
18.33 11/12	4	4	3
C Grupo			
15.00 9/12	3	2	4

Figura 56 - Avaliação formativa dos alunos, organizada em grupos, durante uma atividade prática, através de uma rubrica, na aplicação *iDoceo*.

17:51 terça-feira, 11 de julho Copiar 18.33 11/12 Exportar Feito

Hot Spots: Janela para o interior da Terra

	1	2	3	4
Realização das atividades Conseguiu realizar a atividade e responder às questões sem grandes percalços. 33.33% CDI	Pouco satisfatório	Satisfatório	Bom	Muito Bom
Responsabilidade e autonomia Comporta-se de forma adequada para a atividade e realiza as tarefas autonomamente. 33.33% F	Pouco satisfatório	Satisfatório	Bom	Muito Bom
Trabalho de grupo Demonstra capacidade para trabalhar em grupo, participa e aceita os diferentes contributos. 33.33% E	Pouco satisfatório	Satisfatório	Bom	Muito Bom

Figura 57 - Exemplo de avaliação de um aluno durante uma atividade prática através de uma rubrica, na aplicação *iDoceo*.

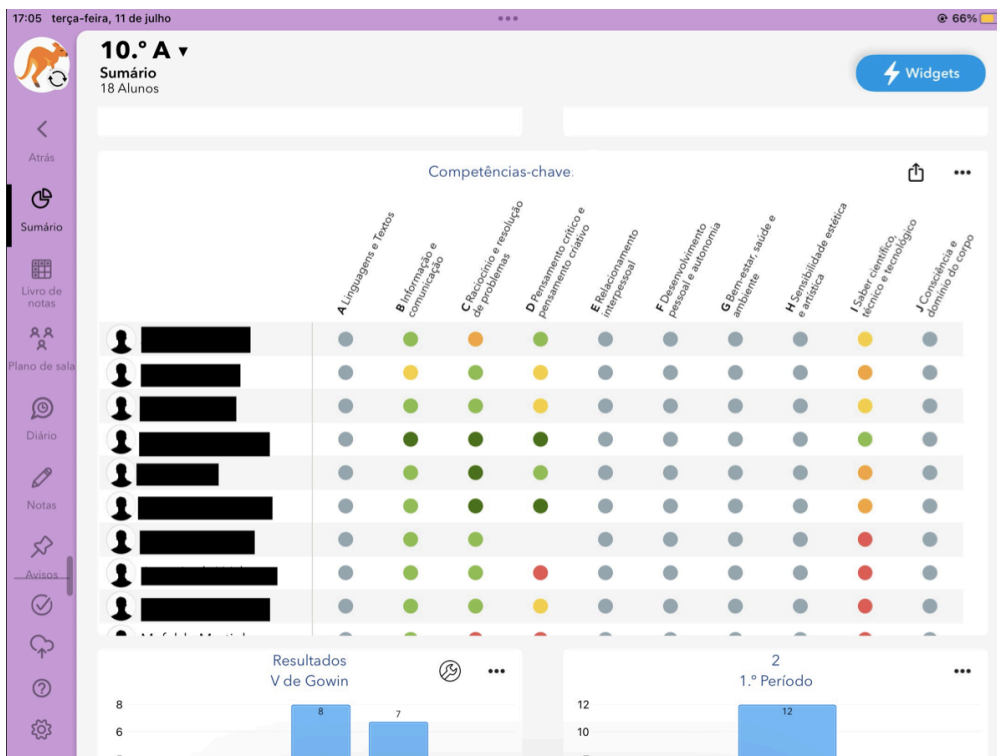


Figura 58 - Avaliação contínua das competências do PASEO dos alunos, aqui representadas por cores, através da aplicação *iDoceo*.

3.4.8. Testes sumativos

De forma a desenvolver competências na construção de provas sumativas, procedeu-se à construção de dois grupos de um teste sumativo e respetivos critérios de correção (Anexo IV), relativos ao “Vulcanismo”, com base na estrutura e organização dos exames nacionais.

Um dos grupos foi utilizado no teste sumativo do 10.º A e incidiu sobre o Parque Nacional de Yellowstone, um tópico que tinha sido destacado durante as aulas assistidas, lecionadas em contexto de estágio. Este grupo é constituído por cinco itens de escolha múltipla, um item de ordenação e um item de resposta aberta, relativo à problemática trabalhada na atividade prática laboratorial “Pontos quentes: Janelas para o interior da Terra”.

O professor orientador cooperante decidiu, também, adaptar o segundo grupo no teste sumativo da turma 10.º B.

3.5. Avaliação

Os instrumentos de avaliação incluíram as estratégias e recursos referidos até ao momento, cujos resultados foram utilizados com fins distintos.

Na turma 10.º A, os dados relativos ao “V de Gowin” e ao grupo do teste sumativo do “Vulcanismo” elaborado pela professora estagiária foram utilizados para fins sumativos. Na turma 10.º B, os dois “V de Gowin” (de Geologia e de Biologia), as tabelas síntese e também um grupo do teste sumativo do “Vulcanismo”, foram utilizados com intuito sumativo. Os elementos sumativos integraram a classificação final dos alunos de acordo com os critérios estabelecidos pela escola, para a disciplina da Biologia e Geologia do 10.º ano, nomeadamente, 60% para a componente do conhecimento científico (domínio D1), 25% para atividades experimentais/laboratoriais, de pesquisa e de divulgação de conhecimentos (domínio D2) e 15% para as aprendizagens atitudinais: participação, interesse e responsabilidade (domínio D3).

Os resultados do *Plickers* realizado na turma 10.º B e os restantes dados obtidos nas duas turmas, incluindo os do pré-teste e pós-teste, assumiram um carácter formativo.

3.6. Outras atividades

O enriquecimento da formação da professora estagiária integrou várias atividades para além das práticas letivas, incluindo a participação em conselhos de turma, que incluíram reuniões de avaliação, de área disciplinar e de departamento, nas quais contribuiu com informação recolhida acerca dos alunos. Simultaneamente, também participou do PSE da turma 10.º B, tendo auxiliado o professor orientador

cooperante no esclarecimento de dúvidas dos alunos, e em duas palestras de professores universitários, destinadas aos alunos do 10.º ano, uma sobre tsunamis e outra sobre as mitocôndrias e a restrição calórica, esta última com componente prática. Na qualidade de núcleo de estágio, lecionou uma aula de segurança laboratorial no âmbito dos domínios de articulação curricular com Física e Química.

No dia 28 de março, a professora acompanhou as turmas de 11.º ano numa visita de estudo à Fundação Eça de Queirós e ao geoparque de Arouca, no qual os alunos puderam observar as pedras parideiras na aldeia da Castanheira e o contacto geológico da Mizarela, entre os micaxistos e os granitos variscos. Visitou-se ainda o Museu das Trilobites do Centro de Interpretação e Investigação Geológica de Canelas, que tem uma exposição do seu espólio de fósseis do Ordovício Médio, essencialmente trilobites, extraídos das ardósias locais.

No dia 26 de abril, o núcleo de estágio acompanhou as turmas do 10.º A e 10.º B à exposição “Água: uma exposição sem filtro” (Fig. 59) do Exploratório – Centro Ciência Viva de Coimbra, criada no contexto da Década Internacional para a Ação – Água para o Desenvolvimento Sustentável. Esta enquadrava-se no objetivo 6 das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável: Água e saneamento para todos até 2030.

O núcleo de estágio também assegurou a demonstração de atividades a alunos do 9.º ano da Escola Secundária D. Duarte e das Escolas EB 2,3 Inês de Castro e de Taveiro, no sentido de os auxiliar na escolha do curso em que planeavam ingressar no próximo ano letivo. A professora estagiária optou por demonstrar um modelo de um aquífero, constituído por uma caixa de plástico preenchida por areão e um dispensador de creme a representar um poço (Fig. 60). Utilizou-se água corada de azul e água corada de vermelho para representar a água e um contaminante, respetivamente. O primeiro dia foi assegurado pelo núcleo de estágio e por um professor de Biologia e Geologia do 11.º ano, enquanto a professora estagiária assegurou todas as estações no segundo dia. Considera-se que esta oportunidade foi um importante complemento à sua formação profissional, ao fazer o exercício de adaptar um conteúdo de 11.º ano ao nível e aos conhecimentos prévios dos alunos de 9.º ano. Posteriormente, o professor do 11.º ano solicitou que a professora estagiária fosse demonstrar e explicar o modelo do aquífero aos dois turnos de uma das suas turmas.

No âmbito do mestrado e de um projeto de inovação da universidade de Alcalá de Henares, o núcleo de estágio participou de uma viagem de dois dias ao Centro de Interpretação Paleontológico e Arqueológico de Tamajón (CIPAT), na região de Guadalajara, em Espanha, na qual se realizou uma aula de campo no primeiro dia, em conjunto com alunos do Magistério do Pólo de Guadalajara. Neste primeiro conjunto de atividades, observaram-se várias litologias do Paleozoico e o limite entre o Triásico e a base do Cretácico Superior. Infelizmente, não foi possível observar *in loco* as pistas de crocódilomorfos no Cretácico, por estas se encontrarem cobertas para sua conservação, mas observaram-se imagens e réplicas das pegadas (Fig. 61), que se apresentam semelhantes às dos crocodilos atuais, todavia voltadas para a frente, o que sugere que

a sua locomoção estava adaptada a um ambiente terrestre no Cretácico. No segundo dia, o grupo deslocou-se a um modelado cársico e visitou o CIPAT, onde lhes foi apresentado um projeto de atividades didáticas (Fig. 62).

Ainda no contexto do estágio pedagógico, implementou o seu projeto de investigação educacional em Biologia e Geologia, no qual investigou o impacto do fornecimento de um procedimento experimental na motivação e envolvimento cognitivo dos alunos nas atividades práticas laboratoriais experimentais, cujo resumo foi submetido ao XX Encontro Nacional de Educação em Ciências/*VI International Seminar of Science Education*, Covilhã, janeiro de 2024, para ser apresentado como poster.



Figura 59 - Mesa da "Terra" que se equilibra com a distribuição dos objetivos sustentáveis da ONU, na exposição "Água: uma exposição sem filtro" no Exploratório - Centro Ciência Viva de Coimbra.



Figura 60 - Demonstração do modelo de um aquífero a alunos do 9.º ano, no âmbito de atividades organizadas com o intuito de ajudar os alunos na escolha do curso no Ensino Secundário.

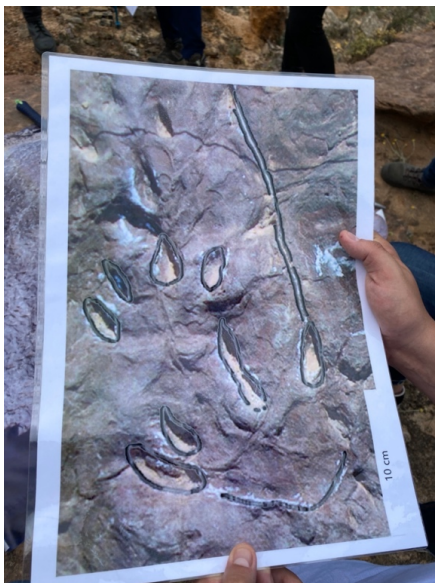


Figura 61 - Imagem de icnofósseis (pegadas) de um crocodylomorfo do Cretácico.



Figura 62 - Exemplo de um recurso didático que auxilia na diferenciação de conceitos no Centro de Interpretação Paleontológico e Arqueológico de Tamajón (CIPAT), Espanha.

4. Resultados e conclusões

4.1. Geologia - 10.º A

4.1.1. Pré-teste e pós-teste

O pré-teste e o pós-teste (Fig. 35) foram implementados na turma 10.º A com 17 alunos.

No pré-teste (Fig. 63) houve três itens (4, 10E e 10F) que obtiveram uma taxa de acerto de 100%, relativos ao que é uma câmara magmática, sobre a relação entre o magma e o tipo de erupção e sobre a atividade vulcânica como prova de a Terra ser um planeta geologicamente ativo. Apesar de se esperar um bom resultado nos itens 4 e 10F, não se esperava que todos os alunos se recordassem da relação entre o tipo de magma e a erupção (item 10E). Em contrapartida, os alunos revelaram falhas na identificação da origem do magma (item 5), na definição de vulcanismo primário (item 6), nos tipos de lavas (item 7) e na identificação das características de um tipo de erupção que originou um tipo de vulcão (item 8.1). A taxa de acerto também foi muito baixa nos itens 2 (29%) e 12.2 (18%), relativos à definição de cratera e à identificação do edifício vulcânico num esquema. Estes resultados surpreenderam devido à facilidade das questões e, após posterior análise, concluiu-se que estes foram fruto da forma como os itens foram construídos. O item 2 apresenta duas respostas que se enquadram como possíveis definições de cratera vulcânica, enquanto o item 12.2 pede a identificação de uma estrutura (cone vulcânico) que está assinalada de forma ambígua.

No pós-teste verificou-se uma melhoria notável dos resultados, com um aumento expressivo de respostas certas e a diminuição consequente das respostas erradas e “Não sei” (Figs. 64 e 65). Cinco itens do pós-teste tiveram uma taxa de acerto de 100%. Porém, vale a pena ressaltar que três questões (10A, 10D e 10F) do pós-teste obtiveram menos respostas certas do que no pré-teste, conquanto o item 10D seja o único que apresenta uma descida significativa. Pensa-se que isso possa ser resultado de respostas ao acaso no pré-teste, que inflacionaram os resultados, dado que vários alunos admitiram responder ao acaso quando não sabiam a resposta. Não parece ser coincidência que estes itens sejam todos do tipo V/F, nos quais os alunos não possuem a opção “Não sei” e têm 50% de probabilidade de acertar.

No seu todo, estes resultados sugerem que aulas lecionadas pela professora estagiária, no contexto do estágio pedagógico, surtiram um efeito positivo na aprendizagem dos alunos relativamente ao tema “Vulcanismo”.

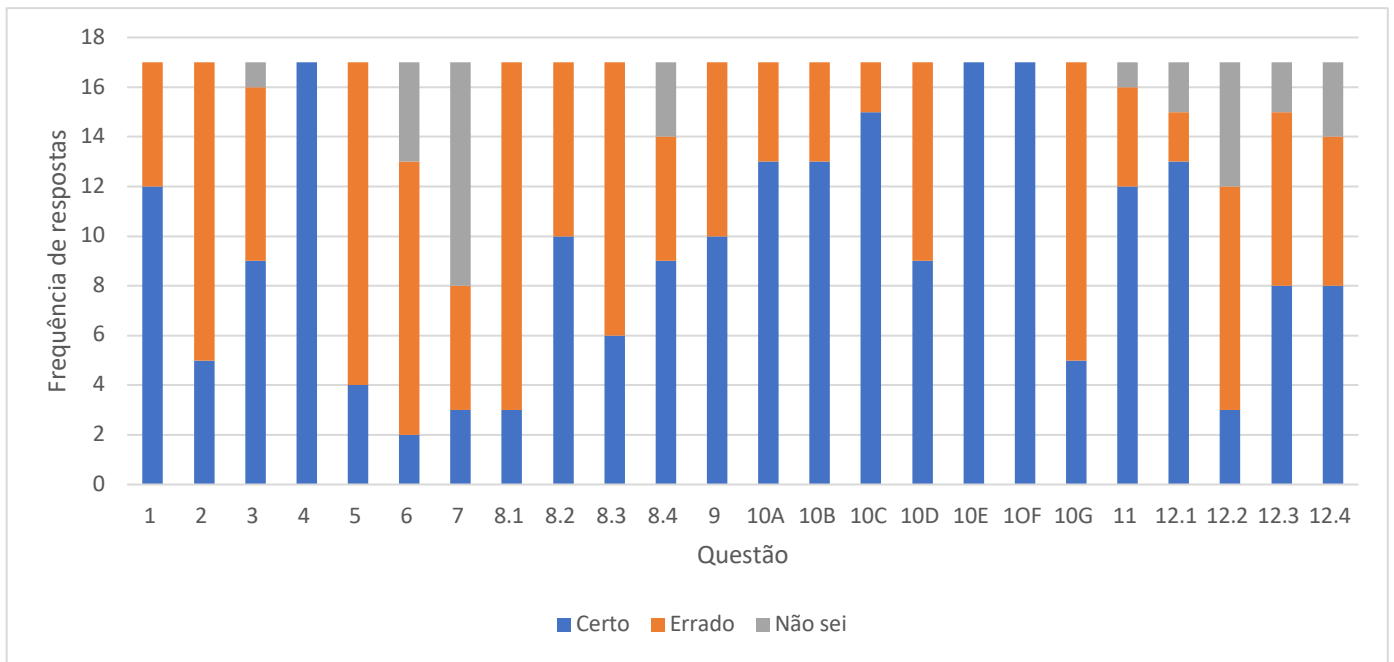


Figura 63 - Resultados do pré-teste realizado pelos alunos do 10.º A relativamente ao "Vulcanismo".

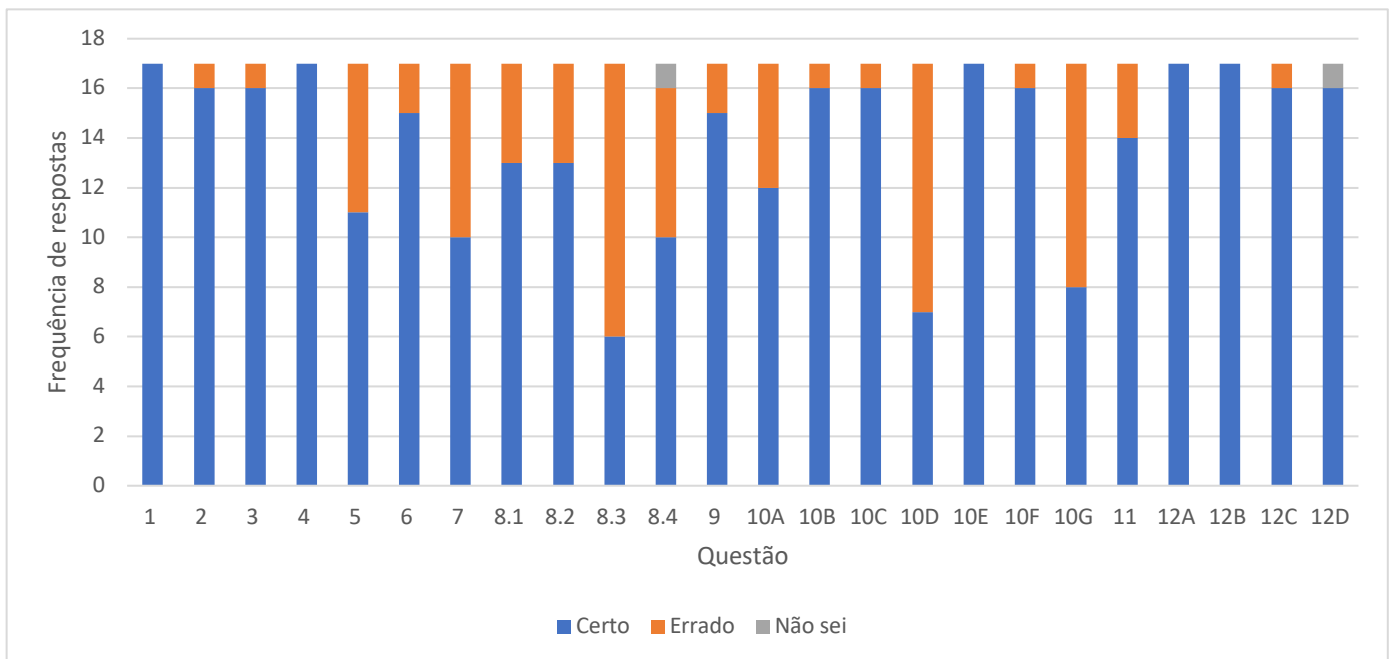


Figura 64 - Resultados do pós-teste realizado pelos alunos do 10.º A relativamente ao "Vulcanismo".

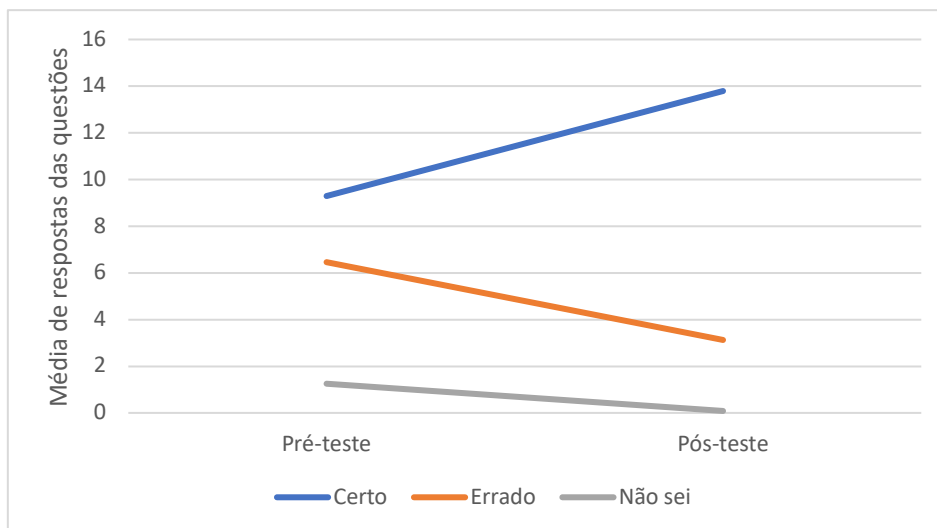


Figura 65 - Comparação da média de respostas "certas", "erradas" e "não sei" no pré-teste e no pós-teste realizados pelos alunos do 10.ºA.

4.1.2. “V de Gowin”

O relatório “V de Gowin” relativo a parte da atividade prática laboratorial “Pontos: quentes: Janelas para o interior da Terra” teve uma média de classificações de 14,5 valores, sendo que a nota mais alta foi um 18,5 e a nota mais baixa um 8,5, esta última explicada pelo facto de aluna não ter terminado o relatório, deixando os resultados, que equivalem a 6 valores, em branco. Considera-se que a média global é um bom resultado, tendo em consideração que os alunos nunca tinham feito um relatório desta tipologia, e que o 8,5 é um *outlier*.

A questão-problema foi formulada em conjunto, em grupo-turma. A parte do relatório que apresentou uma menor taxa de sucesso, foi a dos princípios teóricos (48%), não porque eles não conhecessem os conceitos necessários à realização da atividade, mas porque tiveram dificuldade na seleção de informação, tendo solicitado a ajuda da professora estagiária por várias vezes. No que diz respeito ao procedimento (97%) e aos resultados (85%), não se verificaram grandes obstáculos, com exceção de duas alunas que não fizeram os resultados por falta de tempo. As conclusões foram mais heterogéneas (54%), sendo que alguns alunos demonstraram ter compreendido a atividade, e outros apresentaram erros na linguagem científica e/ou apenas responderam diretamente à questão-problema, sem justificar como lá chegaram.

O saldo global é positivo, pois considera-se que os grupos de trabalho funcionaram bem e que os alunos compreenderam o objetivo da atividade. Não obstante, seria pertinente prestar mais apoio a alunos que não estejam a conseguir acompanhar o ritmo da turma. Na figura 66 é apresentado um relatório realizado por um aluno da turma A.

As percentagens apresentadas para os resultados dos “V de Gowin” e dos testes sumativos não refletem a taxa de acerto, mas sim a percentagem da média de valores atingidos pela turma, relativamente ao total de valores das questões.

Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologia
Biologia e Geologia-10.ºA
Ano letivo 2022/2023

ES D. Duarte

Nome: _____ Nº _____ Classificação: _____

Princípios teóricos

O magma é uma substância líquida, sólida, ou gasosa, que se encontra no interior da Terra. A viscosidade é a resistência de um fluido ao escoamento.

Inc

Conceitos
Viscosidade, magma, degaseificação, Amadurecimento

Procedimento

1. Utilizámos dois gobelês, de 9 cm de altura e dois berlines, na atividade 2.

2. Os gobelês tinham ambos 100 ml, e cada um representava um tipo de magma.

Medimos a altura dos berlines, 9 centímetros, e largura dos berlines em cada um deles, enquanto cronometrávamos e verificamos que o Magma A era mais viscoso, porque o berline demorou mais tempo a atingir o fundo do gobelê.

Questão problema

De que forma a viscosidade afeta as características do magma?

Conclusões

Do acordo com a atividade dois, conseguimos obter o resultado e concluir, que o Magma A era o mais viscoso, pois, o berline demorou mais tempo a atingir o fundo do gobelê, e de acordo, com os resultados da atividade 3 concluímos, que a formação, e a libertação de bolhas é mais difícil no magma mais viscoso, mas no A o magma mais viscoso, mas no B o magma menos viscoso, pois o berline atingiu o fundo do gobelê mais rapidamente.

Registos e transformações de dados

Magma	Distância vertical que o berline percorreu (cm)	Tempo que o berline demora a atingir o fundo do gobelê (s)	Taxa de queda do berline (cm/s)
A	9	27, 79 s	0,32 cm/s
B	9	1,24 s	7,25 cm/s

Tabela 1 - resultados sobre a viscosidade

Magma	força necessária para tirar bolhas	facilidade com que os bolhas se libertam
A	maior força	mais difícil
B	menor força	mais fácil

Tabela 2 - resultados sobre a degaseificação

Figura 66 - Exemplo de um relatório "V de Gowin", realizado por um aluno do 10.º A, relativo à atividade prática laboratorial "Pontos quentes: Janelas para o interior da Terra".

4.1.3. Teste sumativo

Os resultados apresentados são relativos apenas aos itens elaborados pela professora estagiária, os quais integram o grupo IV do teste sumativo relativo ao "Vulcanismo". Neste grupo do teste sumativo a turma obteve uma média de 65%, sendo que, no domínio D1, "Conhecimento científico", a taxa de sucesso foi de 74% e no domínio D2, "Aplicação de conhecimentos", foi de apenas 24%. Estes resultados revelam uma maior dificuldade na elaboração de respostas de desenvolvimento.

Não tendo acesso aos critérios de correção do professor orientador cooperante e às respostas dos alunos, não se irá proceder à discussão das mesmas.

4.1.4. Resultados qualitativos de outras atividades

Durante a atividade de lápis e papel "Cartas de Pompeia", os alunos colocaram dúvidas e revelaram ser capazes de identificar características de uma erupção explosiva. Numa primeira instância, os alunos não conseguiram compreender por si mesmos a importância de relatos históricos, tais como a carta de Plínio, o Jovem, para a construção do conhecimento científico. Com o questionamento por parte da professora, sobre como é que se tinha conhecimento dos detalhes da erupção do Vesúvio, os alunos conseguiram fundamentar a necessidade deste tipo de registo.

Desta forma, considera-se que os objetivos da atividade foram cumpridos.

Por último, o *iDoceo* permitiu um registo rápido e intuitivo do que se passa na sala de aula e, como tal, revelou-se um instrumento valioso em vários momentos do estágio.

4.2. Biologia - 10.º B

4.2.1. Pré-teste e pós-teste

O pré-teste e o pós-teste (Fig. 36) foram implementados na turma 10.º B com 16 alunos e 15 alunos, respetivamente, devido à ausência de uma aluna aquando da implementação do pós-teste.

Relativamente ao pré -teste (Fig. 67), o item com maior taxa de acerto foi o 4 (88%), seguido dos itens 1, 2, 3, 5 e 6 (81%). Todos estes itens dizem respeito a matéria que já tinha sido lecionada no presente ano letivo. Os resultados do pré-teste evidenciam que, embora os alunos saibam que os organismos autotróficos produzem o próprio alimento (item 1), detêm a conceção errónea, identificada na literatura, de que as plantas se alimentam de água, sais minerais ou luz (item 7). Outro tópico onde os alunos falharam mais, foi na identificação dos intervenientes na equação da fotossíntese (itens 11a e 11b).

Todavia, verificou-se uma grande melhoria nos resultados do pós-teste (Fig. 68). Pode-se concluir que os alunos ganharam uma melhor compreensão da origem dos compostos necessários à fotossíntese (itens 8 e 9), do objetivo da fotossíntese (item 10), da equação da fotossíntese (itens 11a e 11b) e dos locais da planta por onde entram/saem os intervenientes da fotossíntese (itens 12a, 12b e 12c). Também é visível uma melhoria significativa no item 7, embora os resultados continuem aquém do desejado. Esta conceção errada foi analisada e discutida nas aulas, mas os resultados indicam que se deve insistir numa mudança conceptual, adequando-a, por exemplo, à aplicação de novas estratégias. De um modo geral, também se pode observar um aumento na média de respostas certas e diminuição de repostas erradas e “Não sei” do pré-teste para o pós-teste (Fig. 69).

Avaliados no seu conjunto, estes resultados sugerem que as aulas lecionadas pela professora estagiária, no contexto do estágio pedagógico, surtiram um efeito positivo na aprendizagem dos alunos relativamente ao tema “Obtenção de matéria pelos seres autotróficos”.

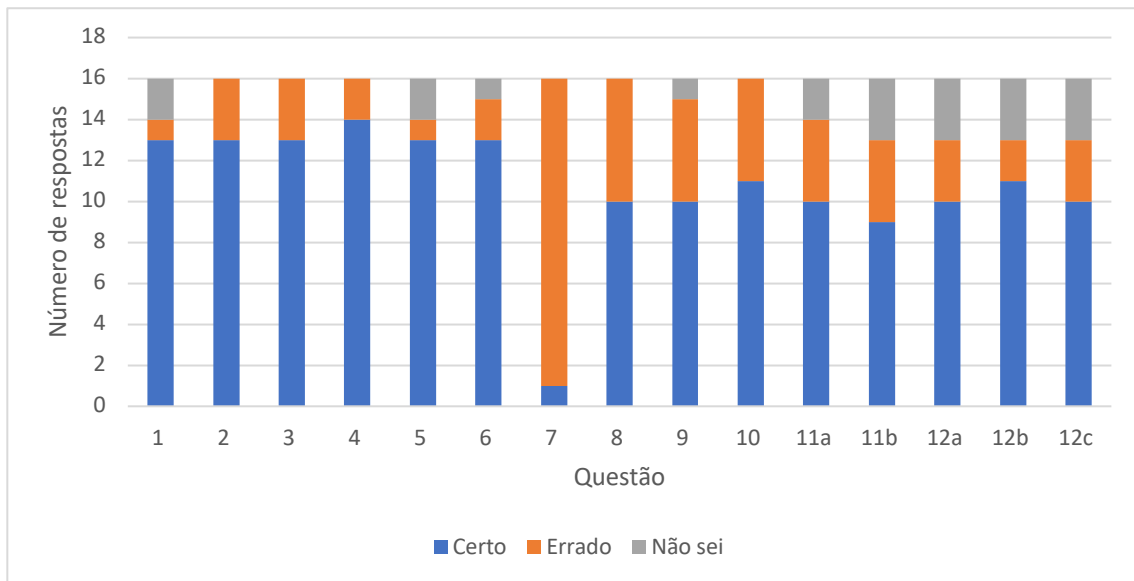


Figura 67 - Resultados do pré-teste realizado pelos alunos do 10.º B relativamente à "Obtenção de matéria pelos seres autotróficos".

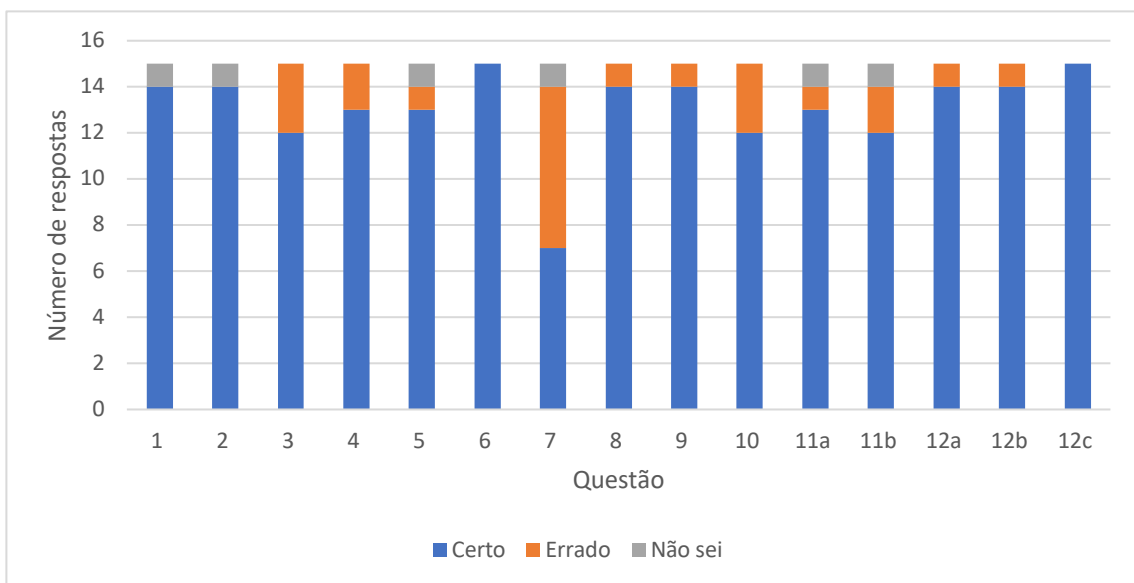


Figura 68 - Resultados do pós-teste realizado pelos alunos do 10.º B relativamente à "Obtenção de matéria pelos seres autotróficos".

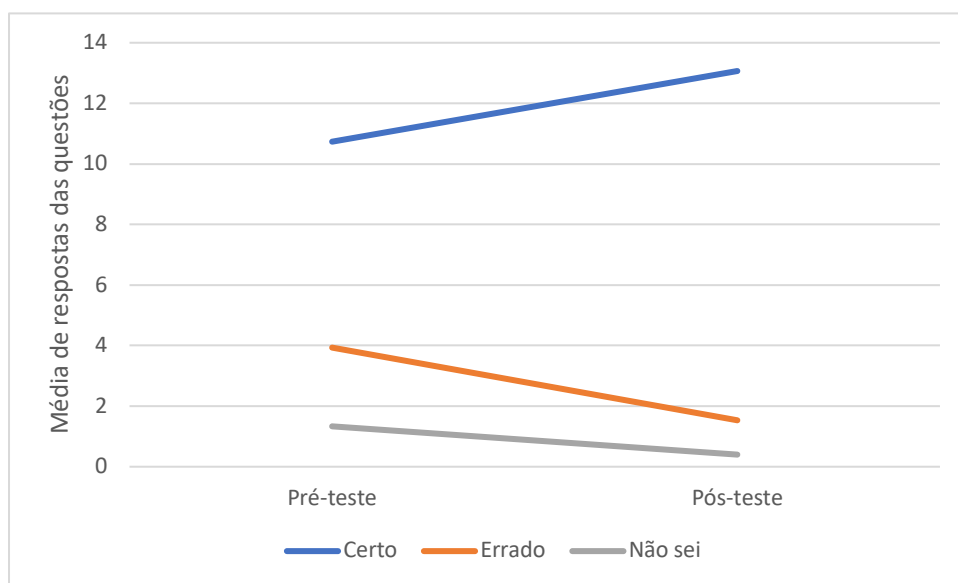


Figura 69 - Comparação da média de respostas "certas", "erradas" e "não sei" no pré-teste e no pós-teste realizados pelos alunos do 10.ºB.

4.2.2. Plickers

No questionário que os alunos responderam no *Plickers*, houve uma taxa global de acerto de 60% (Fig. 70). As questões que os alunos mais acertaram foram a 3 e a 4, ambas com 81%, relativas à identificação dos seres autotróficos e ao nível de complexidade das várias estruturas da folha, respetivamente. A questão com menor taxa de acerto foi a 2 (13%), que abordava os compostos necessários à fotossíntese e a sua origem.

Os resultados sugerem que grande parte dos alunos aprendeu os conceitos que foram alvo de aprendizagem nas aulas anteriores, mas mostram que seria preciso trabalhar mais a temática do *input* de matéria na fotossíntese e a sua origem, o que ocorreu nas aulas que se seguiram. Os resultados das tabelas síntese realizadas posteriormente, comprovam que a aprendizagem se realizou de modo significativo.

		Aula 3 Tue 07 Mar • 60%				
Name ^	Total	Considerando a equação geral da	Os materiais necessários para o	Os seres autotróficos incluem...	Selecione a opção que estabelece a	As plantas não utilizam a energia
Class Average	• 60%	59%	13%	81%	81%	69%

Figura 70 - Resultados globais e de cada questão do questionário realizado pelos alunos do 10.º B na aplicação *Plickers*.

4.2.3. Tabelas síntese

A tabela síntese “De onde vêm e para onde vão os intervenientes da fotossíntese?” obteve uma média de 16,3 valores, sendo que dois alunos tiveram a nota máxima. Na tabela “Energia e matéria na fotossíntese”, a média foi de 13,9 valores, sendo relevante referir que três alunos atingiram os 18 valores e a nota mais baixa foi de 11 valores. Estes resultados evidenciam uma maior dificuldade dos alunos na tabela referente à energia e matéria na fotossíntese, o que era expectável, dado que se trata de um exercício mais exigente a nível cognitivo.

No que diz respeito à primeira tabela (Fig. 71), quase todos os alunos conseguiram identificar os intervenientes/produtos da fotossíntese. Também não se verificaram grandes obstáculos no resto dessa tabela, embora tenham falhado, por vezes, no reconhecimento da origem dos intervenientes.

Relativamente à tabela sobre energia e matéria (Fig. 72), grande parte dos alunos apenas referiu o local de cada fase da fotossíntese em organismos eucariontes, obtendo apenas metade da cotação. Adicionalmente, os alunos revelaram maior dificuldade na identificação do *output* de energia e de matéria da fase fotoquímica relativamente aos da fase química, o que é expectável por o último ser mais intuitivo. No entanto, conseguiram identificar corretamente a fonte de energia da fase química, que corresponde ao *output* de energia da fase fotoquímica. Isto sugere que compreendem que o ATP e o NADPH são as fontes de energia da fase química, mas não os identificam como o destino final da energia na fase fotoquímica.

Uma limitação inerente à segunda tabela é o facto de a resposta correta, nalguns casos, ser deixada em branco. Assim sendo, não há forma de ter a certeza de que alguns alunos os deixaram em branco porque compreendem o processo, ou se o fizeram porque não sabiam a resposta. De forma a contornar esta limitação, recomenda-se que seja comunicada aos alunos a obrigatoriedade de assinalarem com “-”, de forma a demonstrarem que a resposta “em branco” foi deliberada.

Também numa futura implementação e de forma a desenvolver competências de níveis cognitivos superiores, seria pertinente solicitar que os alunos criassem as suas próprias tabelas síntese, obrigando-os, assim, a que procedessem a uma organização da informação que fizesse sentido para eles e os auxiliasse no seu estudo e aprendizagem.

Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologia
 Biologia e Geologia-10.º B
 Ano letivo 2022/2023

Nome: _____ N.º _____ Classificação: _____

Tabela síntese
De onde vêm e para onde vão os intervenientes da fotossíntese?

Intervenientes/Produtos	Origem	Local de entrada na planta	Local de saída da planta
Energia luminosa ✓	sol ✓	Folha (cloroplastos) ✓	— ✓
Água ✓	Solo ✓	Raiz ✓	Folha ✓ <i>transpiração</i>
CO ₂ ✓	Atmosfera ✓	Folha ✓	— ✓
O ₂ ✓	Fotossíntese / fase fotoquímica ✓	— ✓	Folha ✓
Glicídios ✓	Ciclo do carbono / fase química ✓	— ✓	— ✓
NADPH ✓	fase fotoquímica ✓	— ✓	— ✓
ATP ✓	fase fotoquímica ✓	— ✓	— ✓

Figura 71 - Exemplo de preenchimento da tabela síntese "De onde vêm e para onde vão os intervenientes da fotossíntese" por um aluno do 10.º B.

Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologia
 Biologia e Geologia-10.º B
 Ano letivo 2022/2023

Nome: _____ N.º _____ Classificação: _____

Tabela síntese
Energia e matéria na fotossíntese

Parâmetros	Objetivo	Localização	Fonte de matéria	Output de matéria	Fonte de energia	Output de energia	Outros
Fase	(Indicar o objetivo de cada fase)	(Referir onde é que a fase ocorre numa célula eucariótica e numa célula procarionótica)	(Identificar as moléculas que contribuem com matéria (ou átomos) para o processo)	(Identificar o destino de todos os átomos (C, O e H) dos inputs moleculares)	(Identificar as fontes que conferem energia ao processo)	(Mencionar o destino da energia que entra no sistema)	(Mencionar outras moléculas importantes envolvidas no processo)
Fotoquímica	Serve para produzir a energia ATP e NADPH através da absorção da energia solar.	Eucariótica: Na membrana das tilacóides ↓ célula procarionótica ↓ membrana celular	H ₂ O ✓	Na membrana das hidrogénio e oxigénio	Luz ✓	ATP e NADPH	NaDP+ Pigmentos fotossintéticos ATP sintase
Química	Transforma a matéria inorgânica em matéria orgânica	Eucariótica: tilacóides Estroma célula procarionótica (citose)	CO ₂ ✓	glicídios ✓	NADPH e ATP ✓	glicídios	glicose ✓ ribulose bifenolato Rubisco

Figura 72 - Exemplo de preenchimento da tabela síntese "Energia e matéria na fotossíntese" por um aluno do 10.º B.

4.2.4. “V de Gowin”

A turma B realizou dois “V de Gowin”, dos quais um relativo à Geologia e outro à Biologia. Dado que foram implementados em momentos distintos, não refletem os resultados do mesmo grupo de alunos.

O relatório “V de Gowin”, relativo à atividade prática “Pontos: quentes: Janelas para o interior da Terra”, teve uma média de classificações de 13,6 valores, sendo que a nota mais alta foi um 20 e a nota mais baixa um 6,2, esta última de um aluno estrangeiro que acabou por mudar de curso. Considera-se que a média global é um bom resultado, tendo em consideração a disparidade de conhecimentos prévios dos alunos e que estes nunca tinham feito um relatório desta tipologia.

A parte do relatório com maior taxa de sucesso foi a dos resultados (95%). Os alunos revelaram mais falhas nas componentes que exigiam o desenvolvimento de um texto claro e organizado, os princípios teóricos (45%) e as conclusões (53%). Estes resultados são explicados pela dificuldade que os alunos apresentam em formular respostas de desenvolvimento e pela formação de grupos não heterogéneos, que resultaram na média de 19 valores de um dos grupos e na média inferior a 14 valores dos restantes grupos.



O saldo global é positivo, pois considera-se que os alunos compreenderam o objetivo da atividade, conquanto se conclui que os grupos de trabalho devem ser definidos pelo professor, e não ficar ao critério dos alunos.

No “V de Gowin” da atividade prática “Fatores limitantes da fotossíntese - parte I” (Fig. 73), a média foi de 15,3 valores, sendo que uma aluna obteve a classificação máxima. A nota mais baixa foi de 9,5 valores.


Os princípios teóricos e as conclusões continuam a apresentar os resultados mais baixos, mas é importante salientar que nenhuma componente do relatório apresentou uma taxa de sucesso inferior a 67%, o que se revela muito positivo, não só relativamente às aprendizagens dos alunos, como também à sua capacidade de traduzirem o que foi feito na atividade prática e de tirarem conclusões.

Contrariamente ao que ocorreu na atividade anterior, a professora estagiária definiu grupos que considerou propícios à realização da atividade, com base nas observações feitas ao longo do ano letivo. Na sua opinião, os novos grupos tiveram um impacto positivo, não só nos resultados globais, como na evolução individual de alguns alunos que puderam aprender com os pares.

Embora a discussão tenha sido acerca dos resultados dos três fatores que foram partilhados com toda a turma no quadro, seria, todavia, mais enriquecedor ter pedido aos alunos que o seu relatório também incluísse os três fatores e não apenas o fator que o seu grupo analisou.

ES D. Duarte



Curso Científico-Humanístico de
Ciências e Tecnologia
Biologia e Geologia-10.ºB
Ano letivo 2022/2023

Nome: _____ N.º _____ Classificação: _____

Princípios teóricos

A fotossíntese é um processo dependente de luz, da forma das folhas e o modo como as folhas se dispõem facilitando a captação de luz assim sendo a realização da fotossíntese. A energia luminosa é captada por pigmentos fotossintéticos como a clorofila. A amido é uma substância estável e insolúvel, sendo o principal produto da reserva presente nos células das plantas. A soluto de lugol é um indicador de amido. Na presença de amido, o soluto de tom amarelado torna-se azul-escuro/Preto.

Conceitos fotossíntese, clorofila, amido, luz, etanol, Iodine, amido

Procedimento

- 1º, 2º, 3º - ver o página
- 4º passo - colocar 30ml de água no gobete, adicionar a lamparina de álcool e colocar o gobete no suporte sobre a lamparina.
- 5º - colocar a folha em água a ferver durante 1 minuto.
- 6º - retirar a folha, com uma pinça e colocá-la no funil de um tubo de ensaio com auxílio de varreta.
- 7º - colocar etanol no tubo de ensaio até cobrir a folha.
- 8º - colocar o tubo de ensaio em banho-maria no gobete, aquecendo-o até que a folha tenha cor esbranquiçada.
- 9º - Remover o tubo de ensaio do gobete e retirar cuidadosamente a folha do tubo de ensaio com a ajuda da varreta.
- 10º - Pôr a folha com uma pinça e passar a folha por água no funil do vidro.
- 11º - transferir a folha para uma caixa de Petri e cobrir com soluto de lugol.

Questão problema

A luz é um fator limitante da fotossíntese?

Conclusões

Na folha exposta à luz verificou-se a presença de amido. ✓ dada a reação que podemos observar do soluto de lugol, pois significa que houve fotossíntese, no caso de folha não exposta não detetamos a presença de amido pois não ocorreu fotossíntese. ✓ A luz é um fator limitante de fotossíntese. ✓

Registo de dados

	A luz-escuro/Preto (presença de amido)	Amarelo-laranja (ausência de amido)
A	folha exposta à luz ✓	folha não exposta à luz ✓

Figura 73 - Exemplo de um "V de Gowin", realizado por um aluno do 10.º B, relativo à atividade prática laboratorial experimental "Fatores limitantes da fotossíntese – parte I".

4.2.5. Teste sumativo

Os resultados apresentados são relativos apenas aos itens elaborados pela professora estagiária que integraram o grupo IV do teste sumativo relativo ao "Vulcanismo". Neste grupo do teste sumativo, a turma obteve uma média de 51%, sendo que no domínio D1, "Conhecimento científico", a taxa de sucesso foi de 71% e no domínio D2, "Aplicação de conhecimentos", foi de 31%. Estes resultados revelam uma maior dificuldade na elaboração de respostas de desenvolvimento.

Não tendo acesso aos critérios de correção do professor cooperante e às respostas dos alunos, não se irá proceder à discussão das mesmas.

4.2.6. Resultados qualitativos de outras atividades

No que diz respeito ao uso da analogia relativa à libertação de energia da vela e da dinamite, os alunos concluíram que a velocidade a que a energia era libertada era o que diferenciava os dois, sendo imediata na dinamite e demorando horas na vela.

No decorrer da atividade de lápis e papel "Fotossíntese na Floresta Nacional do Tapajós, Amazônia", os alunos surpreenderam pela positiva, ao demonstrarem um espírito crítico relativamente ao caso da Floresta do Tapajós e terem sido capazes de relacionar a disponibilidade de água com a expectativa da capacidade fotossintética.

A questão onde se revelou um maior entrave, foi a relativa ao potencial da floresta para ser resiliente ao aquecimento global, o que era expectável dada a necessidade de relacionar conhecimentos prévios com o que tinham acabado de aprender. No entanto, conseguiu atingir-se o objetivo através do desenho de um esquema no quadro com contributos dos alunos. Apesar da leitura e interpretação do texto ter sido feita por um aluno, em conjunto com a professora estagiária, a capacidade de seleção de informação pelos alunos necessita de ser trabalhada, dado que, por regra, leem os textos rapidamente e sem prestarem muita atenção.

Por fim, a atividade de simulação digital “Fatores limitantes da fotossíntese - parte II” revelou-se um sucesso em vários aspetos, dado que os alunos participaram com elevada motivação e todos os membros dos grupos quiseram participar da manipulação da simulação e da construção das respostas, mesmo os que costumam não o fazer. A análise das respostas de cada grupo confirmou que conseguiram construir os gráficos corretamente e que compreenderam o impacto dos fatores limitantes da fotossíntese. Não obstante, numa implementação futura seria pertinente fazer uma análise das conclusões que os alunos tiraram da atividade em grupo-turma.

5. Considerações finais

O Estágio Pedagógico constitui a experiência mais completa que se pode ter da docência, ao constituir um importante processo de transmutação para o estagiário que, de aluno, o torna apto a ser professor e a desempenhar com sucesso o dia a dia de uma profissão da maior importância para a sociedade e para a cidadania. Não só o estágio decorrido na escola ao longo do ano letivo de 2022-2023, sob a tutela do professor orientador cooperante, como também o mestrado como um todo, possibilitaram uma aprendizagem holística que permitiu tirar maior proveito e aplicar o que se aprendeu.

Assim, durante o referido ano letivo, a professora estagiária teve a oportunidade de acompanhar duas turmas de 10.º ano que, através das suas diferenças, lhe permitiram desenvolver competências que contribuíram para a sua evolução enquanto professora. Uma das turmas, menos participativa e mais homogênea, apresentou desafios no que diz respeito à participação; a outra turma, com alunos das mais diversas origens e contextos culturais, exigiu um outro nível de diferenciação pedagógica e adaptação do ensino-aprendizagem de forma a incluir todos os alunos no processo.

Se os alunos são diferentes também a ação do professor tem de o ser. O professor tem de ser capaz de partir do que cada aluno sabe para perceber a melhor forma de ultrapassar as suas dificuldades, mas acima de tudo tem de criar um ambiente acolhedor a todos os alunos e propício à aprendizagem.

Da mesma forma que se considera que um dos requisitos mais importantes para o aluno aprender é que este esteja motivado, o professor tem de ser o motor dessa motivação.

Em suma, aquando do final do ano letivo, a professora estagiária apercebe-se que, apesar do tempo limitado de aulas lecionadas, de certa forma já é docente desde o início do ano porque a aprendizagem do professor não acaba e não se realiza apenas dentro da sala de aula.

6. Referências bibliográficas

- Acocella, V. (2021). *Volcano-Tectonic processes*. Springer Publishing.
- Amador, F. (2010). Contribuições da História da Ciência para os processos de desenho curricular. *Revista da Educação*, 17(1), 9–30.
- Andrews, G. D., Labishak, G., Brown, S., Isom, S. L., Pettus, H. D., & Byers, T. (2020). Teaching with digital 3D models of minerals and rocks. *GSA Today*, 30(9), 42–43. <https://doi.org/10.1130/gsatg464gw.1>
- Aubusson, P. J., Harrison, A. G., & Ritchie, S. M. (2006). Metaphor and analogy. In P. J. Aubusson, A. G. Harrison & S. M. Ritchie (Eds.), *Metaphor and analogy in science education* (pp. 1–9). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3830-5_1
- Aubusson, P. J., Treagust, D. F., & Harrison, A. G. (2009). Learning and teaching science with analogies and metaphors. In S. M. Ritchie (Ed.), *The world of science education: Handbook of research in Australasia* (pp. 199–216). Sense Publishers. https://doi.org/10.1163/9789087909291_014
- Baker, J. R., Goodboy, A. K., Bowman, N. D., & Wright, A. (2018). Does teaching with PowerPoint increase students' learning? A meta-analysis. *Computers & Education*, 126, 376–387. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.08.003>
- Banwart, S. A., Nikolaidis, N. P., Zhu, Y., Peacock, C. L., & Sparks, D. L. (2019). Soil functions: Connecting earth's critical zone. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 47(1), 333–359. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-063016-020544>
- Benson, A. A. (2002). Following the path of carbon in photosynthesis: A personal story. *Photosynthesis Research*, 73, 29–49. <https://doi.org/10.1023/a:1020427619771>
- Bessa, N., & Fontaine, A. M. (2002). *Cooperar para aprender: Uma introdução à aprendizagem cooperativa*. ASA.
- Best, M. G. (2002). *Igneous and metamorphic petrology* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Bizzoco, R. L. W., & Kelley, S. T. (2019). Geothermal steam vents of Hawai'i. In J. Seckbach & R. Pabulo (Eds.), *Model ecosystems in extreme environments* (2nd ed., pp. 23–40). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812742-1.00002-7>
- Bolkan, S. (2019). Facilitating student attention with multimedia presentations: Examining the effects of segmented PowerPoint presentations on student learning. *Communication Education*, 68(1), 61–79. <https://doi.org/10.1080/03634523.2018.1517895>
- Brod, G. (2021). Generative learning: Which strategies for what age? *Educational Psychology Review*, 33(4), 1295–1318. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09571-9>.
- Bryan, T. S. (2018). *The geysers of Yellowstone* (5th ed.). University Press of Colorado.

- Cachapuz, A. F., Praia, J., & Jorge, M. (2002). *Ciência, educação em ciência e ensino das ciências*. Ministério da Educação.
- Calvin, M. (1961). The path of carbon in photosynthesis. In *osti.gov* (UCRL-9966). <https://doi.org/10.2172/928404>
- Chamizo, J. A. (2013). A new definition of models and modeling in chemistry's teaching. *Science & Education*, 22(7), 1613–1632. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9407-7>
- Chou, P. (2022). Using plickers to support student learning in rural schools: A comprehensive analysis. *SAGE Open*, 12(3), 215824402211161. <https://doi.org/10.1177/21582440221116109>
- Crouch, C. H., Fagen, A. P., Callan, J. P., & Mazur, E. (2004). Classroom demonstrations: Learning tools or entertainment? *American Journal of Physics*, 72(6), 835–838. <https://doi.org/10.1119/1.1707018>
- Dias, A. G., Freitas, M. C., Guedes, F., & Bastos, M. C. (2014a). Colisão de placas. *Revista de Ciência Elementar*, 2(1), 22. <https://doi.org/10.24927/rce2014.011>
- Dias, A. G., Freitas, M. C., Guedes, F., & Bastos, M. C. (2014b). Ponto quente. *Revista de Ciência Elementar*, 2(1), 25. <https://doi.org/10.24927/rce2014.015>
- Dourado, L., Leite, L., & Morgado, S. (2017). Teaching science in the laboratory: A study on portuguese school science teachers' perspectives. *Tojet: The Turkish Online Journal of Educational Technology, Special Issue for INTE 2017 (December)*, 54–65.
- Duarte, M. C. (2004). A história da ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de ciências. *Ciência & Educação*, 10(3), 317–331. <https://doi.org/10.1590/s1516-73132004000300002>
- Encyclopedia Britannica (2013). Volcanology: Eruptions, magma, lava. In *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/volcanology>
- Everard, J. D., & Loescher, W. (2017). Primary products of photosynthesis, sucrose and other soluble carbohydrates. In B. Thomas, B. G Murray & D. J Murphy (Eds.), *Encyclopedia of applied plant sciences* (2nd ed., Vol. 1, pp. 96–104). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394807-6.00095-2>
- Farrell, T. S. C. (2002). Lesson planning. In J. C. Richards & W. A. Renandya (Eds.), *Methodology in language teaching: An anthology of current practice* (pp. 30–39). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511667190.006>
- Fernandes, D. (2021a). *Avaliação sumativa*. Folha de apoio à formação - Projeto de monitorização, acompanhamento e investigação em avaliação pedagógica (MAIA). Ministério da Educação/Direção-Geral da Educação.
- Fernandes, D. (2021b). *Para uma inserção pedagógica dos critérios de avaliação*. Texto de apoio à formação - Projeto de monitorização, acompanhamento e investigação em avaliação pedagógica (MAIA). Ministério da Educação/Direção-Geral da Educação.

- Fischer, T., & Chiodini, G. (2015). Volcanic, magmatic and hydrothermal gases. In H. Sigurdsson (Ed.), *The encyclopedia of volcanoes* (2nd ed., pp. 779–797). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385938-9.00045-6>
- Fisher, A. B., & Zhang, Q. (2006). NADPH and NADPH oxidase. In G. J. Laurent & S. D. Shapiro (Eds.), *Encyclopedia of respiratory Medicine* (pp. 77–84). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b0-12-370879-6/00252-0>
- Fleischman, D. E. (2012). Photosynthesis. In N. Sperelakis (Ed.), *Cell physiology source book* (4th ed., pp. 909–924). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-387738-3.00051-2>
- Frost, R. B., & Frost, C. D. (2013). *Essentials of Igneous and Metamorphic Petrology* (1st ed.). Cambridge University Press.
- Gibson, D., & Baek, Y. K. (2009). *Digital simulations for improving education: Learning through artificial teaching environments: Learning through artificial teaching environments*. IGI Global.
- Giere, R. N. (2010). An agent-based conception of models and scientific representation. *Synthese*, 172(2), 269–281. <https://doi.org/10.1007/s11229-009-9506-z>
- Gill, R., & Fitton, G. (2010). *Igneous rocks and processes: A practical guide* (2nd ed.). Wiley.
- Gowin, D. B., & Alvarez, M. C. (2005). *The art of educating with V diagrams*. Cambridge University Press.
- Graham, S. (2020). An attributional theory of motivation. *Contemporary Educational Psychology*, 61, 101861. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101861>
- Green, J. C., Berry, J. A., Ciais, P., Zhang, Y., & Gentine, P. (2020). Amazon rainforest photosynthesis increases in response to atmospheric dryness. *Science Advances*, 6(47). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abb7232>
- Grotzinger, J., & Jordan, T. H. (2014). *Understanding Earth* (7th ed.). W. H. Freeman.
- Hall, C. A. S. (2014). Ecosystems and energy: History and overview. In *Reference module in earth systems and environmental sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.09058-8>
- Harris, A., & Rowland, S. K. (2015). Lava flows and rheology. In H. Sigurdsson (Ed.), *The encyclopedia of volcanoes* (2nd ed., pp. 321–342). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385938-9.00017-1>
- Harris, A., Rowland, S. K., Villeneuve, N., & Thordarson, T. (2016). Pāhoehoe, ‘a’ā, and block lava: an illustrated history of the nomenclature. *Bulletin of Volcanology*, 79(1). <https://doi.org/10.1007/s00445-016-1075-7>
- Huff, W. D., Owen, L. A., & Soldati, A. (2022). Volcanic landforms. In J. F. Shroder (Ed.), *Treatise on Geomorphology* (2nd ed., Vol. 2, pp. 340–375). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818234-5.00098-5>
- Jain, S. (2014). *Fundamentals of physical Geology*. Springer New Delhi. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-1539-4>

- Johnson, M. L., & Burns, E. (2023). Characteristics of effective models for classroom demonstrations. *Theory Into Practice*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/00405841.2023.2226552>
- Jones, B., & Renaut, R. W. (2011). Hot springs and geysers. In J. Reitner & V. Thiel (Eds.), *Encyclopedia of Geobiology* (pp. 447–451). Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9212-1_103
- Lancor, R. (2012). Using metaphor theory to examine conceptions of energy in biology, chemistry, and physics. *Science & Education*, 23(6), 1245–1267. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9535-8>
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521. <https://doi.org/10.1002/tea.10034>
- Leegood, R. C. (2013). Photosynthesis. In W. J. Lennarz & M. D. Lane (Eds.), *Encyclopedia of biological Chemistry* (2nd ed., pp. 492–496). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-378630-2.00049-9>
- Leite, L. (2000). As actividades laboratoriais e a avaliação das aprendizagens dos alunos. In M. Sequeira et al. (org.). *Trabalho prático e experimental na educação em ciências*. Braga: Universidade do Minho, 91 – 108.
- Leite, L. (2006). Da complexidade das actividades laboratoriais à sua simplificação pelos manuais escolares e às consequências para o ensino e a aprendizagem das ciências. *Boletín das Ciências*, 19(61), 163–164.
- Leite, L., & Dourado, L. G. P. (2013). Laboratory activities, science education and problem-solving skills. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 106, 1677–1686. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.190>
- Loureiro, A. L., Osório, A. J., & Meirinhos, M. (2021). Competência digital: Um estudo sobre as competências dos professores para a integração das TIC em contextos educativos. In A. J. Osório, M. J. Gomes, A. Ramos, & A. L. Valente (Eds.), *Challenges 2021, desafios do digital: Livro de atas* (pp. 457–465). Centro de Competência. Universidade do Minho.
- Lutgens, F., & Tarbuck, E. (2017). *Essentials of Geology* (13th ed.). Pearson.
- Machado, E. A. (2022). *Autoavaliação*. Folha de apoio à formação - Projeto de monitorização, acompanhamento e investigação em avaliação pedagógica (MAIA). Ministério da Educação/Direção-Geral da Educação.
- Martins, G. D. O., Gomes, C. A. S., Brocardo, J., Pedroso, J. V., Camilo, J. L. A., Silva, L. M. U., Alves, M. M. G., Horta, M. J. V. C., Calçada, M. T. C. S., Nery, R. F. V., & Rodrigues, S. M. C. V. (2017). *Perfil dos alunos à saída da escolaridade obrigatória*. Ministério da Educação e Ciência. http://dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Projeto_Autonomia_e_Flexibilidade/perfil_dos_alunos.pdf

- McCall, G. J. H. (2013). Geysers and hot springs. In *Reference module in Earth Systems and Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.02846-3>
- Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (2005). Assessing science understanding: The epistemological vee diagram. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee & J. D. Novak (Eds.), *Assessing science understanding: A human constructivist view*. (pp. 41–69). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012498365-6/50005-6>
- Moreira, C. (2013). Fotossíntese. *Revista de Ciência Elementar*, 1(1), 5. <https://doi.org/10.24927/rce2013.005>
- Moreira, C. (2014). Estrutura das folhas. *Revista de Ciência Elementar*, 2(3), 190. <https://doi.org/10.24927/rce2014.190>
- Moreira, M. A. (2006). Mapas conceituais e diagramas V. *Porto Alegre: Ed. do Autor*, 103.
- Moreira, M. A. (2012a). O que é afinal aprendizagem significativa? *Revista Currículum*, 25, 29–56.
- Moreira, M. A. (2012b). Mapas conceituais e aprendizagem significativa (concept maps and meaningful learning). *Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, digramas V e unidades de ensino potencialmente significativas*, 41, 1-14.
- Motschnig-Pitrik, R., & Santos, A. M. (2006). The person centered approach to teaching and learning as exemplified in a course in organizational development. *Zeitschrift Für Hochschulentwicklung (ZFHE)*, 4(1).
- Mshayisa, V. V. (2020). Students' perceptions of Plickers and crossword puzzles in undergraduate studies. *Journal of Food Science Education*, 19(2), 49–58. <https://doi.org/10.1111/1541-4329.12179>
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2013). *Lehninger principles of Biochemistry* (6th ed.). W. H. Freeman.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Aprender a aprender*. Plátano Edições Técnicas.
- Nunes, J. C. (2002). Novos conceitos em vulcanologia: Erupções, produtos e paisagens vulcânicas. *Geonovas*, 5–22. <http://www.geopor.pt/gne/prog/vulcan.pdf>
- OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico. (2018). *The future of education and skills: Education 2030*. OCDE.
- OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico. (2020). *PISA 2024 strategic vision and direction for Science*. OCDE.
- Oh, P., & Oh, S. Y. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- Pacheco, J. A., & Maia, I. B. (2019). Para uma análise crítica das políticas curriculares no contexto global e no sistema educativo português. In F. C. Silva & C. X. Filha (Org.), *Conhecimentos em disputa na base nacional curricular comum* (pp. 43–54). Campo Grande: Editora Oeste.

- Patterson, J. A., Emes, M. J., & Tetlow, I. J. (2017). Starch synthesis. In B. Thomas, B. G. Murray, & D. J. Murphy (Eds.), *Encyclopedia of applied plant sciences* (2nd ed., Vol. 1, pp. 570–576). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394807-6.00207-0>
- Paul, M. J. (2013). Photosynthetic carbon dioxide fixation. In W. J. Lennarz & M. D. Lane (Eds.) *Encyclopedia of biological Chemistry* (2nd ed., pp. 497–502). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-378630-2.00050-5>
- Perifanou, M., Economides, A. A., & Tzafilkou, K. (2021). Teachers' digital skills readiness during COVID-19 pandemic. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (Ijet)*, 16(08), 238. <https://doi.org/10.3991/ijet.v16i08.21011>
- Pokhrel, S., & Chhetri, R. (2021). A literature review on impact of COVID-19 pandemic on teaching and learning. *Higher Education for the Future*, 8(1), 133–141. <https://doi.org/10.1177/2347631120983481>
- Raghavendra, A. S., Sunil, B., & Bapatla, R. B. (2017). C3 plants. In B. Thomas, B. G. Murray, & D. J. Murphy (Eds.), *Encyclopedia of applied plant sciences* (2nd ed., Vol. 1, pp. 44–51). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-394807-6.00090-3>
- Rascio, N. (2013). Chloroplasts. In W. J. Lennarz & M. D. Lane (Eds.), *Encyclopedia of biological Chemistry* (2nd ed., pp. 506–510). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-378630-2.00141-9>
- Scheer, H. (2013). Chlorophylls and carotenoids. In W. J. Lennarz & M. D. Lane (Eds.) *Encyclopedia of biological Chemistry* (2nd ed., pp. 498–505). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-378630-2.00134-1>
- Schunk, D. H. (2012). *Learning theories: An educational perspective* (6th ed.). Addison Wesley Longman.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Crawford, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education*, 88(4), 610–645. <https://doi.org/10.1002/sce.10128>
- Shak, M. S. Y., Tahir, M. H. M., Adnan, A. H. M., Piaralal, N. S. D., & Shah, D. S. M. (2021). Google Classroom as perceived by educators: An overview. *Malaysian Journal of Social Sciences and Humanities*, 6(7), 360–369. <https://doi.org/10.47405/mjssh.v6i7.867>
- Sharkey, T. D. (2018). Discovery of the canonical Calvin–Benson cycle. *Photosynthesis Research*, 140(2), 235–252. <https://doi.org/10.1007/s11120-018-0600-2>
- Shen, J., Poppink, S., Cui, Y., & Fan, G. (2007). Lesson planning: A practice of professional responsibility and development. *Educational Horizons*, 85(4), 248–258.
- Siebert, L., Cottrell, E., Venzke, E., & Andrews, B. (2015). Earth's volcanoes and their eruptions: An overview. In H. Sigurdsson (Ed.), *The encyclopedia of volcanoes* (2nd ed., pp. 239–255). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00012-2>
- Sigurdsson, H. (2015). *The encyclopedia of volcanoes*. Academic Press.

- Smith, R. B., & Christiansen, R. L. (1980). Yellowstone Park as a window on the earth's interior. *Scientific American*, 242(2), 104–117. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0280-104>
- Soares, D., Borges, F., Abrantes, I., Magalhães, P., Lopes, B., & Baptista, A. V. (2017). A 'questão-Problema' nos relatórios do tipo "V de Gowin": Um estudo exploratório no 11.º ano de Biologia do ensino secundário português. *Indagatio Didactica*, 9(4), 385–406. <https://doi.org/10.34624/id.v9i4.1009>
- Speight, J. G. (2017). Industrial inorganic chemistry. In J. G. Speight (Ed.), *Environmental inorganic chemistry for engineers* (pp. 111–169). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849891-0.00003-5>
- Sprinthall, N. A., & Sprinthall, R. C. (1993). *Psicologia educacional: Uma abordagem desenvolvimentista*. McGraw Hill.
- Strickroth, S. (2019). PLATON: Developing a graphical lesson planning system for prospective teachers. *Education Sciences*, 9(4), 254. <https://doi.org/10.3390/educsci9040254>
- Taiz, L., Zieger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates, Incorporated.
- Tsui, C., & Treagust, D. F. (2013). Introduction to multiple representations: Their importance in Biology and biological education. In D. F. Treagust & C. Tsui (Eds.), *Multiple representations in biological education* (pp. 3–18). Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8_1
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R. B. (2020). *Campbell Biology* (12th ed.). Pearson.
- Winter, J. D. (2001). *An introduction to Igneous and Metamorphic Petrology* (1st ed.). Pearson College Div.
- Wray, K. A., McCausland, J. D., McDonald, S., Pallant, A., & Lee, H. S. (2022). Using summary tables to support students' explanations of science phenomena breadcrumb. *Science Scope*, 46(2).
- Wu, J., Albert, L. P., Lopes, A. C. S., Restrepo-Coupe, N., Hayek, M. N., Wiedemann, K. T., Guan, K., Stark, S. C., Christoffersen, B. O., Prohaska, N., Tavares, J. V., Marostica, S., Kobayashi, H., Ferreira, M. G. V., De Campos, K. E., Silva, R. O. S., Brando, P. M., Dye, D. G., Huxman, T. E., . . . Saleska, S. R. (2016). Leaf development and demography explain photosynthetic seasonality in Amazon evergreen forests. *Science*, 351(6276), 972–976. <https://doi.org/10.1126/science.aad5068>
- Yahia, E. M., Carrillo-López, A., Barrera, G. M., Suzán-Azpiri, H., & Bolaños, M. Q. (2019). Photosynthesis. In E. M. Yahia & A. Carrillo-López (Eds.), *Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables* (pp. 47–72). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813278-4.00003-8>
- Zucconi, A. (2016). The need for person-centered education. *Cadmus*, 3(1).

7. Anexos

Anexo I – Planificação de Biologia e Geologia de 10.º ano, a médio prazo, relativamente ao 1.º Período.

PLANIFICAÇÃO A MÉDIO PRAZO DOS CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS – 10.º ANO		
Ano letivo: 2022/2023	Período: 1.º	Número de aulas previstas por turma: 74
Disciplina: Biologia e Geologia		
Domínios/Subdomínios/Conteúdos	Aprendizagens Essenciais elencadas por Domínio	Aulas
Domínio: Geologia e métodos		
1. A geologia, os geólogos e os seus métodos	<ul style="list-style-type: none"> • Interpretar situações identificando exemplos de interações entre os subsistemas terrestres (atmosfera, biosfera, geosfera e hidrosfera). 	3
1.1. Interações entre os subsistemas da Terra;	<ul style="list-style-type: none"> • Explicar o ciclo litológico com base nos processos de génese e características dos vários tipos de rochas, selecionando exemplos que possam ser observados em amostras de mão no laboratório e/ou no campo. 	9
1.2. As rochas e o ciclo litológico;	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar princípios de raciocínio geológico (atualismo, catastrofismo e uniformitarismo) na interpretação de evidências de factos da história da Terra (sequências estratigráficas, fósseis, tipos de rochas e formas de relevo). 	8
1.3. Dos principais princípios do raciocínio geológico à tectónica de placas;	<ul style="list-style-type: none"> • Interpretar evidências de mobilismo geológico com base na teoria da Tectónica de Placas (placa litosférica, limites divergentes, convergentes e transformantes/conservativos, rift e zona de subducção, dorsais e fossas oceânicas). 	
1.4. Datação das rochas e idade da Terra.	<ul style="list-style-type: none"> • Distinguir processos de datação relativa de absoluta/ radiométrica, identificando exemplos das suas potencialidades e limitações como métodos de investigação em Geologia. • Relacionar a construção da escala do tempo geológico com factos biológicos e geológicos da história da Terra. 	5
Domínio: Estrutura e dinâmica da Geosfera		
2. Vulcanologia	<ul style="list-style-type: none"> • Relacionar composição de lavas (ácidas, intermédias e básicas), tipo de atividade vulcânica (explosiva, mista e efusiva), materiais expelidos e forma de edifícios vulcânicos, em situações concretas/ reais. 	12
2.1. Origem e classificação do vulcanismo		
2.2. Vulcanismo e tectónica de placas	<ul style="list-style-type: none"> • Explicar (ou prever) características de magmas e de atividade vulcânica ativa com base na teoria da Tectónica de Placas. 	6
2.3. Vulcanismo em Portugal		

PLANIFICAÇÃO A MÉDIO PRAZO DOS CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS – 10.º ANO

		Ano letivo: 2022/2023	Período: 1.º	Número de aulas previstas por turma: 74	Disciplina: Biologia e Geologia
2.4. Prevenção de riscos vulcânicos	<ul style="list-style-type: none"> Distinguir vulcanismo ativo de inativo, justificando a sua importância para o estudo da história da Terra. 				2
2.5. Impacte socioeconómico da atividade vulcânica	<ul style="list-style-type: none"> Localizar evidências de atividade vulcânica em Portugal e os seus impactes socioeconómicos (aproveitamento geotérmico, turístico e arquitetónico). 				4
	<ul style="list-style-type: none"> Planificar e realizar atividades laboratoriais de simulação de aspetos de atividade vulcânica, identificando analogias e diferenças de escalas (temporal e espacial) entre os modelos e os processos geológicos. 				4
3. Sismologia					
3.1. Ondas sísmicas e o seu registo	<ul style="list-style-type: none"> Caracterizar as ondas sísmicas (longitudinais, transversais e superficiais) quanto à origem, forma de propagação, efeitos e registo. 				8
3.2. Escalas de avaliação sísmica	<ul style="list-style-type: none"> Interpretar dados de propagação de ondas sísmicas prevendo a localização de descontinuidades (Mohorovicic, Gutenberg e Lehmann). 				7
3.3. Sismos e tectónica de placas	<ul style="list-style-type: none"> Relacionar a existência de zonas de sombra com as características da Terra e das ondas sísmicas. 				6
3.4. Previsão e prevenção do risco sísmico	<ul style="list-style-type: none"> Determinar graficamente o epicentro de sismos, recorrendo a sismogramas simplificados. 				
3.5. Ondas sísmicas e estudo do interior da Terra	<ul style="list-style-type: none"> Usar a teoria da Tectónica de Placas para analisar dados de vulcanismo e sismicidade em Portugal e no planeta Terra, relacionando-a com a prevenção de riscos geológicos. 				

Anexo II – Critérios de correção do “V de Gowin” da atividade prática laboratorial
"Pontos quentes: Janelas para o interior da Terra".

Descritores para correção do relatório, em formato V de Gowin, sobre a atividade prática laboratorial relativa às características de um magma

Descritores de nível de desempenho - Formulação da **questão problema**

Nível	Descritores de nível desempenho	Pontuação
4	Formula uma questão problema relacionada com os conteúdos, sem falhas linguísticas ou científicas.	20
3	Formula uma questão problema relacionada com os conteúdos, mas com falhas linguísticas ou científicas.	15
2	Formula uma questão problema, mas sem relação com os conteúdos.	5
1	Não formula uma questão problema.	0

Descritores de nível de desempenho - **Princípios teóricos**

Nível	Descritores de nível de desempenho	Pontuação
9	Nos princípios teóricos são apresentados 4 tópicos com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	40
8	Nos princípios teóricos são apresentados 4 tópicos com falhas na organização dos conteúdos ou na linguagem científica.	35
7	Nos princípios teóricos são apresentados 3 tópicos com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	30
6	Nos princípios teóricos são apresentados 3 tópicos com falhas na organização dos conteúdos ou na linguagem científica.	25
5	Nos princípios teóricos são apresentados 2 tópicos com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	20
4	Nos princípios teóricos são apresentados 2 tópicos com falhas na organização dos conteúdos ou na linguagem científica.	15
3	Nos princípios teóricos são apresentados 1 tópicos com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	10
2	Nos princípios teóricos são apresentados 1 tópicos com falhas na organização dos conteúdos ou na linguagem científica.	5
1	Não são apresentados princípios teóricos.	0

Anexo II (continuação) - Critérios de correção do “V de Gowin” da atividade prática laboratorial "Pontos quentes: Janelas para o interior da Terra".

Tópicos a apresentar:

- Diferentes magmas possuem diferentes quantidades de gases.
- Ao ascender até à superfície ocorre libertação dos gases contidos no magma.
- Alguns magmas têm maior facilidade em libertar os gases.
- A viscosidade é a resistência que um fluido oferece ao escoamento.

Conceitos a apresentar:

Ascensão; magma; desgaseificação; viscosidade.

Descritores de nível de desempenho - **Procedimento**

NÍVEL	DESCRIPTORES DE DESEMPENHO	PONTUAÇÃO
4	Apresenta procedimento completo com sequência lógica.	15
3	Apresenta procedimento completo sem sequência lógica.	10
2	Apresenta procedimento incompleto.	5
1	Não apresenta procedimento.	0

Descritores de nível de desempenho - **Registo de resultados**

NÍVEL	DESCRIPTORES DE DESEMPENHO	PONTUAÇÃO
5	Nos resultados são apresentadas 2 tabelas preenchidas sem erros.	60
4	Nos resultados são apresentadas 2 tabelas com erros.	45
3	Nos resultados é apresenta 1 tabela sem erros.	30
2	Nos resultados é apresentada 1 tabela com erros.	15
1	Não são apresentados resultados.	0

Anexo II (continuação) - Critérios de correção do “V de Gowin” da atividade prática laboratorial "Pontos quentes: Janelas para o interior da Terra".

Descritores de nível de desempenho – **Conclusão**

Nível	Descritores de desempenho	Pontuação
9	Na conclusão são apresentados 4 tópicos com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	65
8	Na conclusão são apresentados 4 tópicos com falhas na organização dos conteúdos ou na linguagem científica.	60
7	Na conclusão são apresentados 3 tópicos com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	50
6	Na conclusão são apresentados 3 tópicos com falhas na organização dos conteúdos ou na linguagem científica.	40
5	Na conclusão são apresentados 2 tópicos com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	30
4	Na conclusão são apresentados 2 tópicos com falhas na organização dos conteúdos ou na linguagem científica.	20
3	Na conclusão é apresentado 1 tópico com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	15
2	Na conclusão é apresentado 1 tópico com falhas na organização dos conteúdos ou na linguagem científica.	10
1	Não são apresentados tópicos na conclusão.	0

Tópicos a apresentar:

- O berlinde demora mais tempo a atingir o fundo do gobelé no magma A;
- O magma A apresenta maior resistência ao movimento, logo é mais viscoso;
- O magma A tem maior dificuldade na libertação de gases;
- Um magma mais viscoso tem, conseqüentemente, maior dificuldade na libertação de gases.

Anexo III – Critérios de correção do “V de Gowin” da atividade prática laboratorial experimental “Fatores limitantes da fotossíntese- parte I”.

Descritores para correção do relatório, em formato V de Gowin, sobre a atividade prática laboratorial experimental relativa aos fatores limitantes da fotossíntese

Descritores de nível de desempenho - Formulação da **questão problema**

Nível	Descritores de nível desempenho	Pontuação
4	Formula uma questão problema relacionada com os conteúdos, sem falhas linguísticas ou científicas.	20
3	Formula uma questão problema relacionada com os conteúdos, mas com falhas linguísticas ou científicas.	15
2	Formula uma questão problema, mas sem relação com os conteúdos.	5
1	Não formula uma questão problema.	0

Descritores de nível de desempenho - **Princípios teóricos**

Nível	Descritores de nível de desempenho	Pontuação
9	Nos princípios teóricos são apresentados 4 tópicos com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	40
8	Nos princípios teóricos são apresentados 4 tópicos com falhas na organização dos conteúdos ou na linguagem científica.	35
7	Nos princípios teóricos são apresentados 3 tópicos com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	30
6	Nos princípios teóricos são apresentados 3 tópicos com falhas na organização dos conteúdos ou na linguagem científica.	25
5	Nos princípios teóricos são apresentados 2 tópicos com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	20
4	Nos princípios teóricos são apresentados 2 tópicos com falhas na organização dos conteúdos ou na linguagem científica.	15
3	Nos princípios teóricos é apresentado 1 tópico com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	10
2	Nos princípios teóricos é apresentado 1 tópico com falhas na organização dos conteúdos ou na linguagem científica.	5
1	Não são apresentados princípios teóricos.	0

Anexo III (continuação) – Critérios de correção do “V de Gowin” da atividade prática laboratorial experimental “Fatores limitantes da fotossíntese - parte I”.

Tópicos a apresentar

- A fotossíntese é um processo autotrófico utilizado para produzir compostos orgânicos, utilizando a luz como fonte de energia;
- A luz, a clorofila e o dióxido de carbono são necessários para que ocorra fotossíntese;
- As clorofilas são pigmentos fotossintéticos capazes de absorver luz. OU A luz provoca a excitação das clorofilas. OU O CO₂ é necessário na fase química da fotossíntese;
- A glicose produzida é transformada em amido, um glícido de reserva.

Conceitos a apresentar

Amido; clorofila; dióxido de carbono; fotossíntese; luz.

Descritores de nível de desempenho - **Procedimento**

NÍVEL	DESCRIPTORES DE DESEMPENHO	PONTUAÇÃO
4	Apresenta procedimento completo com sequência lógica.	15
3	Apresenta procedimento completo sem sequência lógica.	10
2	Apresenta procedimento incompleto.	5
1	Não apresenta procedimento.	0

Descritores de nível de desempenho - **Registo de resultados**

NÍVEL	DESCRIPTORES DE DESEMPENHO	PONTUAÇÃO
3	É apresentada a tabela com os resultados da experiência expostos sem erros.	60
2	É apresentada a tabela com os resultados da experiência expostos com erros.	30
1	Não são apresentados resultados.	0

Penalização (ausência de legenda) – 10 pontos

Anexo III (continuação) – Critérios de correção do “V de Gowin” da atividade prática laboratorial experimental “Fatores limitantes da fotossíntese - parte I”.

Descritores de nível de desempenho – **Conclusão**

Nível	Descritores de desempenho	Pontuação
9	Na conclusão são apresentados 4 tópicos com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	65
8	Na conclusão são apresentados 4 tópicos com falhas na organização dos conteúdos, ou na linguagem científica.	60
7	Na conclusão são apresentados 3 tópicos com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	50
6	Na conclusão são apresentados 3 tópicos com falhas na organização dos conteúdos, ou na linguagem científica.	40
5	Na conclusão são apresentados 2 tópicos com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	30
4	Na conclusão são apresentados 2 tópicos com falhas na organização dos conteúdos, ou na linguagem científica.	20
3	Na conclusão é apresentado 1 tópico com organização coerente dos conteúdos e linguagem científica adequada.	15
2	Na conclusão é apresentado 1 tópico com falhas na organização dos conteúdos, ou na linguagem científica.	10
1	Não são apresentados tópicos na conclusão.	0

Tópicos a apresentar

- Na experiência A, a folha não exposta à luz não apresenta amido;
- Na experiência A, a folha exposta à luz apresenta amido;
OU
- Na experiência B, a folha dentro do frasco, sem CO₂ não apresenta amido;
- Na experiência B, a folha fora do frasco, com CO₂ apresenta amido;
OU
- Na experiência C, as zonas verdes da folha variegada apresentam amido, enquanto as zonas esbranquiçadas não apresentam amido;
- Na experiência C, a folha não variegada apresenta amido;

- Isto significa que, na ausência de luz/dióxido de carbono/clorofila, não ocorreu fotossíntese.
- A luz/clorofila/dióxido de carbono é um fator limitante da fotossíntese.

Prova escrita de Biologia e Geologia

Indique de forma legível a versão da prova (Versão 1 ou Versão 2).

Utilize apenas caneta ou esferográfica de tinta azul ou preta.

Não é permitido o uso de corretor. Em caso de engano, deve riscar de forma inequívoca aquilo que pretende que não seja classificado.

Para cada resposta, identifique o grupo e o item.

Escreva de forma legível as suas respostas.

Para cada item, apresente apenas uma resposta. Se escrever mais do que uma resposta a um mesmo item, apenas é classificada a resposta apresentada em primeiro lugar.

Nas respostas aos itens de escolha múltipla, selecione a única opção que permite obter uma afirmação correta.

Escreva, na folha de respostas, o número do item e a letra que identifica a opção escolhida.

Grupo I

O Cotopaxi, cujo contexto tectónico está representado na Figura 1, é um vulcão andesítico, que se localiza na cordilheira dos Andes, na América do Sul. Desde 1738, entrou em erupção mais de cinquenta vezes. O seu cone é formado por níveis piroclásticos intercalados com níveis lávicos, tem uma altitude de 5911 metros e o cume está coberto por neve e por gelo. Estas condições favorecem a ocorrência de fluxos de lama, denominados *lahars*. Em erupções anteriores, formaram-se *lahars* que percorreram grandes distâncias e escavaram vales profundos, em várias direções, a partir do cume do vulcão.

Em 2015, após mais de 70 anos de acalmia, ocorreu uma explosão muito forte, com emissão de uma coluna de cinzas que atingiu cerca de 8000 metros acima da cratera. No mesmo ano, registaram-se sismos com focos situados entre 3 e 11 quilómetros de profundidade a partir do cume, cuja magnitude variou entre 0,5 e 3,0.

Retirado de IAVE. (2017). *Exame final nacional de biologia e geologia: 2.ª fase 2017.*

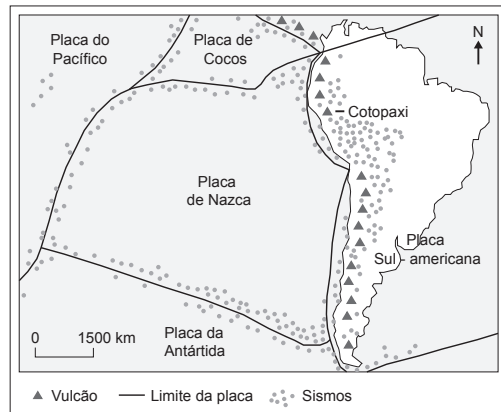


Figura 1 – Contexto tectónico do vulcão Cotopaxi

Retirado de IAVE. (2017).
Exame final nacional de biologia e geologia: 2.ª fase 2017.

Na resposta a cada um dos itens de **1.1.** a **1.4.**, seleccione a única opção que permite obter uma afirmação correta. Escreva, na folha de respostas, o número do item e a letra que identifica a opção escolhida.

Anexo IV (continuação) – Teste sumativo sobre o “Vulcanismo” e respetiva correção.

1.1. O vulcão Cotopaxi está relacionado com um limite _____ entre duas placas litosféricas, verificando-se que as rochas da placa sul-americana possuem _____ densidade média do que as rochas da placa de Nazca.

- (A) convergente ... menor
- (B) convergente ... maior
- (C) divergente ... menor
- (D) divergente ... maior

1.2. O Cotopaxi apresenta vulcanismo de tipo...

- (A) fissural e lavas com percentagem intermédia de sílica.
- (B) central e lavas com baixa percentagem de sílica.
- (C) fissural e lavas com baixa percentagem de sílica.
- (D) central e lavas com percentagem intermédia de sílica.

1.3. A erupção de 2015 resultou de um magma que, em profundidade, poderá originar...

- (A) granito
- (B) gabro
- (C) riólito
- (D) diorito

1.4. Um dos mecanismos responsáveis pela formação do magma que alimenta o vulcão Cotopaxi é...

- (A) o aumento de temperatura, devido ao teor de água nas rochas.
- (B) o aumento de temperatura, devido ao aumento de pressão nas rochas.
- (C) a diminuição do ponto de fusão das rochas, devido ao teor de água.
- (D) a diminuição do ponto de fusão das rochas, devido ao aumento de pressão.

2. Faça corresponder cada uma das descrições relacionadas com a atividade vulcânica, expressas na coluna A, à respetiva designação, que consta da coluna B.

COLUNA A	COLUNA B
(a) Material piroclástico, muito fragmentado, de pequenas dimensões.	(1) Domo vulcânico
(b) Estrutura arredondada resultante da consolidação de lava viscosa.	(2) Escoadada
(c) Estrutura originada pela consolidação de lavas básicas em meio subaéreo.	(3) <i>Lapilli</i>
	(4) Nuvem ardente
	(5) <i>Pillow</i> lava

3

(a) – (3); (b) – (1); (c) – (2)

3. Relacione a constituição dos *lahars* com as grandes distâncias que percorrem.

- Os *lahars* são constituídos pelo material piroclástico do cone vulcânico e água que provém do gelo nos cumes, derretido devido à erupção; (5 pontos)

- A mistura de água e piroclastos, devido à sua fluidez, alcança grandes distâncias. (5 pontos)

4. Explique, tendo em conta as informações fornecidas, como se formou o magma que alimenta a cordilheira dos Andes, do qual Cotopaxi faz parte.

- A cordilheira dos Andes faz parte de um arco vulcânico continental, associado a um limite convergente entre uma placa continental e uma oceânica. (4 pontos)

- A placa oceânica é mais densa e sofre subducção. (2 pontos)

- A água presente nos sedimentos da placa oceânica baixa o ponto de fusão dos materiais rochosos, ocorrendo fusão destes e formação de magmas. (6 pontos)

Grupo II

O Parque Nacional de Yellowstone, o mais antigo parque nacional do mundo, está localizado nos Estados Unidos da América e cobre uma área de 8987 km². Yellowstone é um ponto quente, com uma pluma de magma que se ergue do manto, penetrando em rochas ácidas.

Apesar da atual aparência pacífica da paisagem, Yellowstone sofreu períodos de violência extrema no último milhão de anos. Esse passado resultou na presença de milhares de fontes termais, fumarolas, géiseres e caldeiras naturais.

Exemplos dessa atividade vulcânica são os géiseres, sendo o *Old Faithful* (Velho Fiel) um dos mais conhecidos do mundo pela regularidade das suas erupções. Os estudos dos géiseres do parque, que têm vindo a ser efetuados, sugerem que as secas provocadas pelas alterações climáticas estão a retardar as erupções regulares, podendo estas, em condições extremas, virem a cessar num futuro próximo. Entre 1998 e 2006, os geólogos acompanharam a periodicidade das erupções de cinco géiseres do parque, utilizando sensores de temperatura.

Anexo IV (continuação) – Teste sumativo sobre o “Vulcanismo” e respetiva correção.

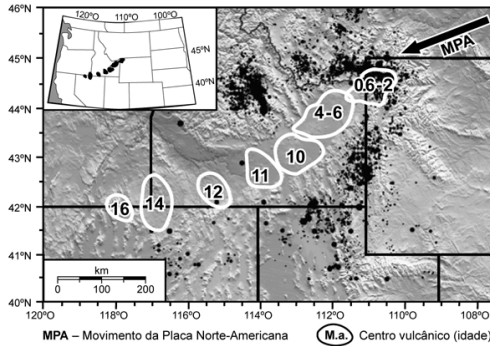


Figura 2A - Localização e idade (M.a.) dos centros vulcânicos.
Adaptado de <http://www.earthmountainview.com>

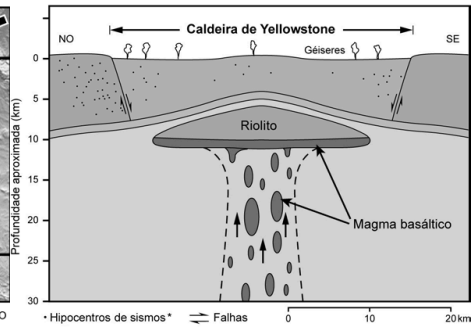


Figura 2B - Perfil da caldeira vulcânica
Adaptado de <http://pubs.usgs.gov>

Em Yellowstone, a caldeira atual foi criada por uma erupção catastrófica que ocorreu há cerca de 640 000 anos e que libertou para a atmosfera 1000 km³ de cinzas, rochas e materiais piroclásticos, que recobriram uma área de milhares de quilómetros quadrados, devastando a paisagem.

Nenhuma erupção vulcânica ocorreu em Yellowstone, desde há 70 000 anos. Contudo, desde os anos 70 do século XX, os cientistas têm vindo a detetar mudanças significativas neste notável sistema vulcânico e hidrotermal, incluindo movimentos ascendentes do solo e aumento da atividade sísmica. Para acompanhar com rigor estas alterações, os cientistas colocaram 22 sismógrafos no parque. A análise dos dados registados permitiu revelar as dimensões da câmara magmática.

Adaptado de GAVE. (2009).
Prova escrita de biologia e geologia: 1.ª fase 2009.

1. Na resposta a cada um dos itens de **1.1.** a **1.5.**, seleccione a única opção que permite obter uma afirmação correta. Escreva, na folha de respostas, o número do item e a letra que identifica a opção escolhida.

1.1. As posições e idades dos centros vulcânicos de Yellowstone permitem inferir que _____ está em movimento para _____.

- (A) a Placa Norte-Americana ... este
- (B) o ponto quente ... este
- (C) a Placa Norte-Americana ... oeste
- (D) o ponto quente ... oeste

Anexo IV (continuação) – Teste sumativo sobre o “Vulcanismo” e respetiva correção.

1.2. A periodicidade das erupções do géiser *Old Faithful* alterou-se, porque o período de seca fez aumentar...

- (A) a pressão da água no interior do reservatório.
- (B) o ponto de ebulição da água do reservatório.
- (C) a temperatura dentro do reservatório de água.
- (D) o tempo de recarga do reservatório de água.

1.3. O facto de um magma basáltico apresentar menor teor em sílica do que um magma riolítico tem como consequência...

- (A) uma maior facilidade na libertação dos gases.
- (B) iniciar a solidificação a temperaturas mais elevadas.
- (C) apresentar uma consistência mais viscosa.
- (D) a possível formação de agulhas vulcânicas.

1.4. Cinzas, lapilli e bombas vulcânicas têm em comum o facto de...

- (A) se tornarem mais fluidas durante a sua libertação.
- (B) apresentarem todas as mesmas dimensões.
- (C) terem sido originadas a partir de lavas básicas.
- (D) serem fragmentos de material projetado para o ar.

1.5. As _____ são manifestações secundárias de vulcanismo, em que ocorre a libertação de _____.

- (A) sulfataras ... sílica
- (B) mofetas ... sílica
- (C) sulfataras ... enxofre
- (D) mofetas ... enxofre

2. Ordene as afirmações identificadas pelas letras de A a E, de modo a reconstituir a sequência de acontecimentos que levaram à formação da caldeira do vulcão de Yellowstone.

- A. Verificou-se o colapso da parte central do aparelho vulcânico.
- B. Armazenamento de magma na câmara magmática.
- C. Formou-se uma depressão na parte superior do cone vulcânico.
- D. Ocorreu uma erupção com esvaziamento da câmara magmática.
- E. O teto da câmara magmática ficou sem apoio.

B - D - E - A - C

Anexo IV (continuação) – Teste sumativo sobre o “Vulcanismo” e respetiva correção.

3. Pelas observações efetuadas em Yellowstone, os cientistas receiam que possam ocorrer, num futuro próximo, erupções explosivas com consequências devastadoras.

Explique a possível ocorrência de erupções explosivas, tendo em conta que a atividade vulcânica em Yellowstone se deve à existência de um ponto quente.

- Um ponto quente é alimentado por magma com origem no manto, de natureza básica. (3 pontos)
- Yellowstone encontra-se numa região continental constituída por rochas ácidas/ricas em sílica. (2 pontos)
- Ao ascender, o magma básico assimila material rico em sílica, tornando-o mais viscoso e resultando em erupções explosivas. (5 pontos)

Cotações

Grupo	Item								
	Cotação (em pontos)								
I	1.1	1.2	1.3	1.4	2.	3.	4.		7
	6	6	6	6	6	10	12		52
II	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.	3.		7
	6	6	6	6	6	8	10		48
Total									100