

(RE)cristalização ou (NEO)cristalização. Conceitos em manuais escolares de Biologia e Geologia 11.º ano.

(RE)crystallization or (NEO)crystallization. Concepts in textbooks of Biology and Geology 11th grade.

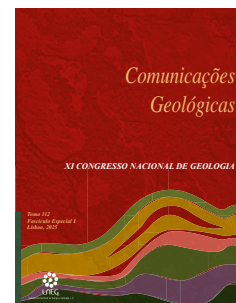
C. Marques^{1*}, C. Barata¹, D. Soares², A. Gomes³, F. C. Lopes¹, I. Abrantes⁴, B. Lopes², E. Gomes¹, P. M. Callapez^{1,5}

DOI: <https://doi.org/10.34637/btrg-9x68>

Recebido em 01/10/2023 / Aceite em 14/02/2024

Publicado online em abril de 2025

© 2025 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP



Artigo original
Original article

Resumo: O metamorfismo, temática incluída nas aprendizagens essenciais da disciplina de Biologia e Geologia do 11.º ano, é entendido como um conjunto de processos geológicos que envolvem modificações no conteúdo/composição mineral e/ou microestruturais de uma rocha, predominantemente no estado sólido. Durante esses processos podem ocorrer a nucleação e o crescimento de novos minerais - neocristalização - e de fases minerais já presentes - recristalização. Esta distinção leva-nos a questionar como é que esta temática é apresentada nos manuais escolares portugueses de Geologia. Para tal, foram analisados três manuais escolares do ano letivo 2022/23 e três do ano letivo 2008/09. Verificou-se que os manuais de 2008/09 referem apenas o processo de “recristalização”. Constatando-se uma evolução positiva nos manuais escolares de 2022/23, mas apenas um introduz o conceito de “neocristalização”. Ainda assim, no geral, estes promovem uma melhor compreensão dos processos que levam à formação de rochas metamórficas.

Palavras-chave: Ensino secundário, Manuais escolares de 11.º ano, Metamorfismo, Recristalização, Neocristalização.

Abstract: In Portugal, metamorphism is a topic included in the learnings of the 11th grade discipline of Biology and Geology. It is understood as a set of processes involving modifications in the mineral content/composition and/or microstructural of a rock, predominantly in the solid state. During these processes both nucleation and growth of new minerals - neocrystallization - and of mineral phases already present - recrystallization - may occur. This distinction leads us to question how this topic is presented in the Portuguese school textbooks of Geology. For that, three textbooks from the school year of 2022/23 and other three from the school year of 2008/09 were object of analysis. Despite the positive evolution noted in the 2022/23 textbooks, only one introduces the concept of “neocrystallization”. Nevertheless, the 2022/23 textbooks promote a better understanding of the processes that lead to the formation of metamorphic rocks.

Keywords: High school, metamorphism, neocrystallization; recrystallization, textbooks

1. Introdução

O metamorfismo, temática incluída nas aprendizagens essenciais e no programa da disciplina de Biologia e Geologia do 11.º ano de escolaridade, revogado pelas Aprendizagens Essenciais, refere os processos que envolvem modificações no conteúdo/composição mineral e/ou microestruturais de uma rocha, predominantemente no estado sólido (Silva *et al.*, 2001; DGE 2018). Traduz-se num ajustamento da rocha (protólito) a condições físicas diferentes das que existiam quando esta se formou e das que normalmente ocorrem à superfície da Terra e na zona de diagénese. Pode coexistir com fusão parcial e pode envolver modificações na composição química global da rocha (Fettes e Desmons, 2011). Durante o metamorfismo, os protólitos estão sujeitos a dois tipos principais de modificações: do conteúdo mineral e da textura. As primeiras implicam a cristalização de novas fases minerais, enquanto as segundas referem-se às mudanças texturais, sem modificação do conteúdo mineral (Fettes e Desmons, 2011). As duas podem ser independentes ou ocorrer em simultâneo. A nucleação e o crescimento de novas fases minerais, ou novos minerais, designadas por blastese ou neocristalização, resultam de reações metamórficas no estado sólido (Vernon e Clarke, 2009). Os reagentes são minerais do protólito e os produtos da reação mineral da rocha metamórfica. Estas reações podem envolver uma ou mais fases fluidas. Todavia, durante o metamorfismo, também pode ocorrer recristalização, isto é, a reorganização das malhas cristalinas e das relações intergranulares, que podem conduzir a uma modificação da dimensão dos cristais das fases minerais já existentes no protólito (normalmente monomineralico) (Vernon e Clarke, 2009). Esta distinção entre cristalização de novos minerais e recristalização, durante o metamorfismo, leva-nos a questionar como é que esta temática é apresentada nos manuais escolares portugueses de Geologia do 11.º ano. Será que também se faz tal distinção?

A pertinência desta questão resulta do facto de que, nas escolas portuguesas, o manual escolar, impresso ou digital, continua a ter um papel preponderante no processo de ensino e aprendizagem, sendo um dos recursos educativos mais utilizados, por professores e alunos, a par das metodologias, estratégias e materiais por ele disponibilizados. Constitui, desta forma, um recurso que pode modelar as aprendizagens realizadas pelos alunos (Pereira e Duarte, 1998; Amoêda *et al.*, 2008; Torres *et al.*, 2015).

Este papel preponderante que os manuais escolares continuam a ter nas escolas, determina que, periodicamente, essas escolas tenham

¹ Universidade de Coimbra, Centro de Investigação da Terra e do Espaço, Departamento de Ciências da Terra, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal.

² Universidade de Aveiro, Centro de Investigação Didática e Tecnologia Educativa na Formação de Formadores, Departamento de Educação e Psicologia, Campus Universitário de Santiago, P-3810-193 Aveiro, Portugal.

³ Universidade de Coimbra, Centro de Engenharia Mecânica, Materiais e Processos, Departamento de Engenharia Mecânica, Rua Sílvio Lima, 3030-790 Coimbra, Portugal.

⁴ Universidade de Coimbra, Centre for Functional Ecology - Science for People & the Planet, Laboratório Associado TERRA, Departamento de Ciências da Vida, Calçada Martim de Freitas, P-3000-456 Coimbra, Portugal.

⁵ Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente (Grupo de Investigación Paleolbérica), Universidad de Alcalá, 28805 Alcalá de Henares, España, Spain

* Corresponding author / Autor correspondente: carlamarques.uc@gmail.com

de selecionar e adotar novos manuais escolares, para cada disciplina e ano escolar, que previamente são avaliados e certificados por entidades certificadoras, reconhecidas pela Direção-Geral de Educação (Amoêda *et al.*, 2008; Pereira e Duarte, 1998; Torres *et al.*, 2015; DGE, 2023). Este procedimento pretende garantir a qualidade científica, pedagógica e didática deste recurso educativo, assegurando a sua conformidade com os programas e orientações curriculares em vigor, e garantindo que constituem efetivamente um apoio válido ao ensino e à promoção do sucesso educativo (DGE, 2023). Na disciplina de Biologia e Geologia do 11.º ano de escolaridade, procedeu-se à adoção de novos manuais escolares no ano letivo 2022/23, os quais vieram substituir os que tinham entrado em vigor 14 anos antes, em 2008/09.

Tendo em conta estes princípios teóricos, pretende-se, através deste estudo, analisar a secção dedicada ao estudo do “Metamorfismo e rochas metamórficas” em manuais escolares de Geologia do 11.º ano de escolaridade, para avaliar como são descritos os processos de formação de minerais em rochas metamórficas (cristalização, recristalização e/ou neocristalização), durante os dois períodos de vigência dos manuais escolares adotados, decorridos entre os anos letivos 2008/09 a 2022/23 (Dias *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2008a; Silva *et al.*, 2008b; Dias *et al.*, 2022; Ferreira *et al.*, 2022; Reis *et al.*, 2022).

2. Metodologia

Para realizar este estudo, analisaram-se os documentos curriculares oficiais em vigor à época em que os manuais escolares foram disponibilizados. Designadamente, o Programa da disciplina de Biologia e Geologia do 11.º ano (2008) e as Aprendizagens essenciais (2022). Deste modo, procedeu-se ao enquadramento teórico da temática sobre a qual iria incidir este estudo.

Após a definição da estrutura do estudo e dos critérios de seleção, procedeu-se ao levantamento dos manuais escolares do 11.º ano do ensino secundário disponíveis para adoção em 2008 e em 2022, ou seja, em momentos temporais e curriculares diferentes.

Posteriormente, selecionou-se uma amostra não probabilística de seis manuais escolares de Biologia e Geologia do 11.º ano de escolaridade, de um universo de sete manuais escolares certificados disponíveis no mercado livreiro português, para analisar a temática relacionada com o metamorfismo e as rochas metamórficas, incluída no volume referente à componente de Geologia (Figura 1).

Três destes manuais escolares foram editados em 2022 por editoras diferentes e adotados pelas escolas portuguesas, pela primeira vez, no ano letivo 2022/23 (são referidos no estudo como MEa, MEb e MEc). Os outros três manuais escolares (identificados por MEd; MEe e MEf) foram editados em 2008 e vigoraram até ao ano letivo de 2021/2022.

É de salientar que apenas foram selecionados os manuais escolares das três editoras que em 2008 e em 2022 editaram manuais escolares para a disciplina de Biologia e Geologia do 11.º ano de escolaridade. Assim, foi excluído, deste estudo, um dos manuais escolares editados em 2008, pelo facto de não ter sido editado um substituto em 2022, por essa editora.

Com esta seleção pretendeu-se comparar a forma como os processos de formação de minerais em rochas metamórficas (cristalização, recristalização e/ou neocristalização) são descritos nos manuais escolares atuais (editados em 2022) e nos anteriores (editados em 2008). Analisou-se o manual escolar do professor em detrimento do manual escolar do aluno, pelo facto do estudo incidir mais sobre a ótica do professor/utilizador, enquanto agente que avalia o cumprimento das orientações curriculares e a superação das dificuldades evidenciadas pelos alunos.

A análise documental foi efetuada a partir da utilização de instrumentos de recolha de dados, mais concretamente grelhas, que permitem minimizar a subjetividade no processo de recolha e análise

de dados, aumentando a fiabilidade dos resultados. Procedeu-se ao levantamento e registo do número de páginas que cada manual escolar dedica ao estudo da temática “metamorfismo e rochas metamórficas”, para levantamento e registo de todas as referências/definições dos conceitos - cristalização, recristalização e neocristalização - incluídas na secção em cada um dos seis manuais analisados, o que possibilitou uma análise qualitativa e descritiva dos conteúdos presentes nos manuais escolares (Amado, 2000).

3. Resultados

No total dos seis manuais escolares amostrados, foram analisadas 106 páginas, 57 páginas referentes aos três manuais escolares editados em 2022 e 49 páginas relativas a manuais escolares editados em 2008.

Verificou-se que nos manuais escolares identificados por MEd, MEe e MEf (editados em 2008), apenas aparece a referência ao conceito “recristalização” ao longo de toda a secção examinada como o evidencia a seguinte transcrição do MEe:

“A composição mineralógica e o arranjo dos minerais preexistentes, quando sujeitos a novas condições de pressão e de temperatura, tornam-se instáveis. Face a estas novas condições termodinâmicas, os materiais rochosos podem ser transformados, originando-se diferentes associações minerais, e/ou diferentes texturas, devido a novos arranjos de partículas, ocorrendo desta forma, processos de recristalização” (p. 156).

Quanto aos manuais escolares disponibilizados para adoção no presente ano letivo, foi possível constatar que o MEa refere sempre o conceito “recristalização”, apesar de mencionar “a formação de novos minerais” na seguinte frase:

“O calor interno da geosfera fornece a energia necessária para as reações metamórficas de recristalização de minerais e/ou a formação de novos minerais, bem como para o seu crescimento” (p. 126).

O MEb refere uma vez o termo cristalização, utilizando predominantemente a designação de “recristalização”, fazendo alusão à formação de novos minerais da seguinte forma:

“Tendo em conta que diferentes minerais cristalizam e permanecem estáveis em diferentes intervalos de temperatura e de pressão, pode usar-se a mineralogia de uma rocha como indicador das condições da sua formação. Por exemplo, o afundamento de rochas sedimentares com minerais de argila induz a sua recristalização, podendo levar à formação de novos minerais (clorite, moscovite e biotite)” (p. 152).

Já o MEc usa os conceitos “recristalização” e “neocristalização”, apresentando o seguinte texto:

“Recristalização: Há mudanças no tamanho e na forma dos grãos de minerais sem que se altere a identidade do mineral” e “neocristalização ou reações metamórficas: Formam-se novos minerais, diferentes dos existentes no protólito, com distinta estrutura cristalina, devido, por exemplo, a migração de átomos entre os minerais no estado sólido” (p. 125).

4. Discussão

A análise efetuada a cada um dos seis manuais escolares amostrados, permitiu constatar que nos MEd, MEe e MEf (editados em 2008), apenas fazem referência ao conceito “recristalização” ao longo de toda a secção relacionada com a temática do “metamorfismo e rochas metamórficas”, examinada. Realça-se, o facto deste conceito tanto aparecer associado à explicação da ocorrência de nucleação e crescimento de fases minerais, já existentes no protólito, ou seja, recristalização, como à ocorrência de nucleação e crescimento de novos cristais, isto é, neocristalização (Fettes e Desmons, 2011; Vernon e Clarke, 2009). Assim, e ao contrário do que é aceite pela comunidade científica, os manuais escolares referidos não fazem



Figura 1. Manuais escolares do 11.º ano de escolaridade analisados.

Figure 1. Textbooks of the 11th grade analyzed.

distinção entre “recristalização” e “neocristalização”. No entanto, o facto de utilizar apenas o conceito “recristalização” vai de encontro às orientações do Programa de Biologia e Geologia do 11.º ano (Silva *et al.*, 2001) em vigor à época da construção desses manuais escolares, já que na seção “Factos, conceitos, modelos e teorias que os alunos devem conhecer, compreender e usar” relativa ao conteúdo conceptual “2.4 Metamorfismo. Agentes de metamorfismo. Rochas metamórficas” apenas aparece a indicação da utilização do conceito “recristalização” (Silva *et al.*, 2001, p. 22-23).

Quanto aos manuais escolares disponibilizados para adoção em 2022, foi possível constatar que o MEa apesar da referência exclusiva ao conceito “recristalização”, acaba por mencionar a “formação de novos minerais”. Assim, ainda que reconheça que a formação de minerais em rochas metamórficas pode resultar de dois processos distintos, este manual escolar usa apenas o conceito “recristalização”, apesar de estar subentendido o processo de neocristalização, com base na referência à possibilidade de haver a “formação de novos minerais”. Contudo, será esta referência suficientemente clara para os alunos do 11.º ano de escolaridade entenderem que o processo de formação de minerais em rochas metamórficas pode decorrer de processos de recristalização e/ou de processos de neocristalização? Provavelmente não, visto que é neste ano letivo que os alunos estudam de forma aprofundada esta temática.

O MEB segue a mesma linha, utilizando predominantemente a designação de “recristalização”, apesar de referir a possibilidade de

se formarem novos minerais e o conceito de “cristalização”, mas sem uma intenção clara de distinguir processos de formação de minerais.

O MEC é o único manual escolar a fazer a distinção entre os conceitos de “recristalização” e “neocristalização”, indo ao encontro do que é aceite pela comunidade científica. Esta opção, de utilizar diferentes conceitos para explicar processos distintos de formação, nos manuais, parece ser a opção mais correta de clarificação de conceitos, promovendo a aprendizagem significativa dos mesmos.

5. Conclusão

Após esta análise, pode afirmar-se que se observa uma evolução positiva, na forma como se explica o processo de formação dos minerais em rochas metamórficas, nos manuais escolares editados em 2022 e atualmente adotados pelas escolas portuguesas, relativamente aos manuais escolares de 2008/09, já que todos referem que pode ocorrer recristalização ou formação de novos minerais. No entanto, só um deles (MEc) distingue a formação de minerais por recristalização, da formação de novos minerais, usando a designação neocristalização. No nosso entender e no dos autores do MEC, esta clareza nos conceitos promove uma melhor compreensão dos processos que levam à formação das rochas metamórficas, cumprindo as indicações curriculares dadas pelas Aprendizagens Essenciais, que consistem em “Explicar texturas e composições mineralógicas de rochas metamórficas com base nas suas condições de gênese” (DGE, 2018, p. 10). Tendo em conta que

estas Aprendizagens Essenciais não diferem em conteúdo do que é referido no Programa de Biologia e Geologia do 11.º ano, que refere na seção enfatizar: “As mudanças mineralógicas e texturais (foliação) provocadas pelos fatores de metamorfismo durante a génese das rochas metamórficas” (Silva *et al.*, 2001, p. 23), esta distinção e clarificação de conceitos, quanto aos processos de formação de minerais, poderia ter sido introduzida nos manuais escolares em 2008.

Agradecimentos

À FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo apoio das Bolsas de Investigação UI/BD/151508/2021, de Carlos Barata, e SFRH/BD/ 148734/2019, de Carla Marques, dos projetos estratégicos UID/Multi/00611/2020 (CITEUC) e UIDB/04004/2020 (CFE) e do FEDER através do COMPETE 2020 (projeto: POCI-01-0145-FEDER-006922). Ao CITEUC – Centro de Investigação da Terra e do Espaço da Universidade de Coimbra, pelo apoio logístico e financeiro prestado.

Referências

- Amado, J., 2000. A técnica de análise de conteúdo. *Revista Referência*, 5: 53-63.
- Amoêda, S. M. D. C., Martins, H., Vasconcelos, C. M. D. S., 2008. Análise científico-didáctica de manuais escolares: um estudo na temática da “Tectónica de Placas”. *Revista Linhas*, 9(2): 76-94.
- DGE - Direção-Geral da Educação, 2018. Aprendizagens Essenciais. Articulação com o perfil dos alunos. 11.º ano. Ensino Secundário. Biologia e Geologia. Direção-Geral da Educação, Lisboa, 11.
- DGE - Direção-Geral da Educação, 2023. Manuais escolares. Consultado a 2 fevereiro, 2023 em <https://www.dge.mec.pt/manuais-escolares>.
- Dias, A. G., Guimarães, P., Rocha, P., 2008. *Geologia 11*. Areal Editores, Maia, 223.
- Dias, A., G., Guimarães, P., Rocha, P., 2022. *Geofoco 11 - Biologia e Geologia - 11.º ano*. Areal Editores, Maia, 221.
- Ferreira, A. L., Bação, F. A., Jacinto, M. J., Silva, P. A., Duarte, M. A., Lobo, S. C., 2022. *BioGeo 11 – Biologia e Geologia 11.º ano*. Texto Editores, Porto, 207.
- Fettes, D., Desmons, J., 2011. A classification and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission of the Systematics of Metamorphic Rocks. Cambridge University Press, Cambridge.
- Pereira, A. C., Duarte, M. C., 1998. O manual escolar como facilitador da construção do conhecimento científico - o caso do tema “Reacções de oxidação-redução” do 9º ano de escolaridade. In: Castro, R., Rodrigues, A., Silva, J., Sousa, M. (Orgs.), *Manuais escolares, funções e história*. Actas do I.º Encontro Internacional sobre Manuais Escolares. Braga: Universidade do Minho, 367-374.
- Reis, J., Guimarães, A., Saraiva, A. B., Novais, H., 2022. *Odisseia - Geologia - 11.º Ano*. Porto Editora, Maia.
- Silva, C. P., Amador, F., Baptista, J. F. P., Valente, R. A., Mendes, A., Rebelo, D., Pinheiro, E., 2001. Programa de Biologia e Geologia 10.º ou 11.º anos. Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologias. Direção-Geral da Educação, Lisboa.
- Silva, A. D., Santos, M. E., Gramaxo, F., Mesquita, A., F., Baldaia, L., Félix, J. M., 2008a. *Terra, Universo de vida: 2ª Parte - Geologia*. Porto Editora, Porto.
- Silva, J. C., Ribeiro, E., Oliveira, O., 2008b. *Desafios 11º: Biologia e Geologia (vol. 2)*. Edições ASA, Rio Tinto.
- Torres, J., Almeida, A., Vasconcelos, C., 2015. Questionamento em manuais escolares: um estudo no âmbito das Ciências Naturais. *Ciência & Educação (Bauru)*, 21: 655-671.
- Vernon, R. H., Clarke, G. L., 2009. Principles of metamorphic petrology. Cambridge University Press, Cambridge.