

A QUÍMICA VERDE NOS DOCUMENTOS CURRICULARES E NOS MANUAIS ESCOLARES DE QUÍMICA PORTUGUESES

GREEN CHEMISTRY IN CURRICULUM DOCUMENTS AND IN PORTUGUESE CHEMISTRY TEXTBOOKS

LA QUÍMICA VERDE EN LOS DOCUMENTOS CURRICULARES Y EN LOS LIBROS DE TEXTO DE QUÍMICA PORTUGUESES

Carina Soares¹, Conceição Costa², Mariette Pereira³, Telma Esperança⁴ & Natália Silva³

¹Departamento de Química, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra, Portugal

²Escola Secundária Avelar Brotero, Coimbra, Portugal

³Institute of Molecular Sciences (IMS): CQC – Centro de Química, Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade de Coimbra, Portugal

⁴CFISUC, Departamento de Física, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal
natalia.silva@qui.uc.pt

RESUMO | Esta investigação analisou a presença da temática da Química Verde nos documentos curriculares e nos manuais escolares de Química do 3.º ciclo do ensino básico e do ensino secundário em Portugal. O estudo seguiu uma abordagem qualitativa, recorrendo à análise de conteúdo e à técnica de frequência lexical de termos relacionados com a Química Verde, utilizando como exemplo contrastivo o nitrato de chumbo(II), pela sua toxicidade e implicações ambientais. Os resultados indicam que o termo Química Verde é praticamente inexistente nos documentos e manuais analisados do 3.º ciclo, embora presente no ensino secundário. Verificou-se, ainda, que todos os manuais escolares do 8.º ano analisados propõem atividades laboratoriais com nitrato de chumbo(II). Face a estes resultados, são apresentadas recomendações para tornar a operacionalização das práticas laboratoriais mais sustentáveis, bem como alternativas à utilização deste reagente.

PALAVRAS-CHAVE: Química Sustentável, Educação em Ciência, Sustentabilidade, Currículo Português, Atividades laboratoriais.

ABSTRACT | This study analysed the presence of the theme of Green Chemistry in the curriculum documents and chemistry textbooks for the 3rd cycle of basic education and secondary education in Portugal. The study followed a qualitative approach, employing content analysis and the technique of lexical frequency analysis of terms related to Green Chemistry, using lead(II) nitrate as a contrasting example due to its toxicity and environmental implications. The results indicate that the term Green Chemistry is virtually absent from the documents and textbooks analysed for the 3rd cycle, although it is present at the secondary education level. It was also found that all 8th-grade textbooks analysed propose laboratory activities involving lead(II) nitrate. Based on these results, recommendations are made to make the implementation of laboratory practices more sustainable, as well as to suggest alternatives to the use of this reagent.

KEYWORDS: Sustainable Chemistry, Science Education, Sustainability, Portuguese Curriculum, Laboratory Activities.

RESUMEN | Esta investigación analizó la presencia de la temática de la Química Verde en los documentos curriculares y en los libros de texto de Química del tercer ciclo de educación básica y de la educación secundaria en Portugal. El estudio siguió un enfoque cualitativo, recurriendo al análisis de contenido y a la técnica de frecuencia léxica de términos relacionados con la Química Verde, utilizando como ejemplo contrastivo el nitrato de plomo(II) debido a su toxicidad e implicaciones ambientales. Los resultados indican que el término Química Verde está prácticamente ausente en los documentos y libros de texto analizados del tercer ciclo, aunque presente en la educación secundaria. Además, se constató que todos los libros de texto de 8.º año analizados proponen actividades de laboratorio con nitrato de plomo(II). A partir de estos resultados, se presentan recomendaciones para hacer más sostenible la implementación de las prácticas de laboratorio, así como alternativas al uso de este reactivo.

PALABRAS CLAVE: Química Sostenible, Educación en Ciencias, Sostenibilidad, Currículo Portugués, Actividades de laboratorio.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a sustentabilidade tem impulsionado transformações significativas no ensino das ciências, em particular no ensino da Química. A Química Verde, ao propor práticas mais seguras e ambientalmente responsáveis, constitui uma oportunidade pedagógica para reconfigurar o modo como se ensina e aprende Química nas escolas (Sánchez Morales et al., 2024).

Nos ensinos básico e secundário, as práticas laboratoriais desempenham um papel crucial na aprendizagem, promovendo o pensamento científico crítico, a experimentação ativa e a compreensão de conceitos abstratos (Gericke et al., 2022). Neste contexto, consideramos que as atividades experimentais aumentam a motivação dos alunos, desenvolvem competências de investigação e de observação crítica, bem como incentivam procedimentos laboratoriais responsáveis. Para isso, a sua implementação deve considerar sempre critérios de segurança e sustentabilidade, alinhando-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (Nações Unidas, 2024).

A escolha adequada de reagentes e a gestão de resíduos químicos nas escolas são desafios a serem superados tanto por professores como por alunos para garantir um ensino da Química mais responsável e ambientalmente consciente (Hoffman & Dicks, 2020). Consideramos que o ensino da Química deve incluir uma forte componente prática e laboratorial. No ensino básico e no ensino secundário, por vezes, os professores utilizam atividades laboratoriais apelativas para captar a atenção e motivar os alunos para o estudo desta ciência e para a enquadrar na resolução de problemas da vida real (Etzkorn & Ferguson, 2023), mas que nem sempre se orientam pelos princípios de sustentabilidade.

Considerando que alguns sistemas de recolha ou tratamento de resíduos químicos em laboratórios escolares revelam-se frequentemente deficientes (Nahlik et al., 2023), a escolha cuidadosa dos reagentes e dos produtos das reações nessas atividades é importante para não comprometer a segurança do professor, dos alunos, mas também do meio ambiente. Apesar de em Portugal estar prevista a eliminação de reagentes perigosos de acordo com as orientações das entidades competentes (Direção-Geral da Educação, 2003), na prática, a gestão desses resíduos em laboratório escolar revela ainda fragilidades. Acresce que não é do nosso conhecimento qualquer realização de estudos sistemáticos sobre a situação da recolha de resíduos nas escolas em Portugal.

Neste contexto, as preocupações ambientais refletem-se nos *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável* das Nações Unidas que reconhecem que a educação e a escola devem ter um papel determinante na formação dos jovens. Para alcançar estes objetivos, consideramos que o ensino da Química, especialmente a sua componente experimental, deve estar alinhado com os doze Princípios da Química Verde, propostos originalmente por Anastas e Warner (1998). Mitarlis et al. (2023) citaram os próprios autores e o trabalho de Manahan (2006) tendo apresentado estes princípios resumidos em frases simples: 1. Prevenir o desperdício; 2. Maximizar a economia atómica; 3. Sintetizar produtos químicos seguros; 4. Planificar uma síntese química menos perigosa; 5. Usar solventes e condições de reação seguros; 6. Melhorar a eficiência energética; 7. Usar matérias-primas renováveis; 8. Evitar derivados químicos; 9. Usar um catalisador em vez de um reagente estequiométrico; 10. Planificar a síntese de produtos químicos

que se possam decompor após o uso; 11. Analisar em tempo real o processo químico para prevenir a poluição; 12. Minimizar os potenciais acidentes.

Estes princípios foram formulados no contexto de uma crescente preocupação com a necessidade de prevenir a poluição química e reduzir os riscos à saúde humana e ao ambiente, propondo um novo paradigma para o desenvolvimento de produtos e processos químicos sustentáveis. Inicialmente orientados para a indústria (Anastas & Warner, 1998), estes princípios passaram também a ser aplicados no ensino de ciências, promovendo práticas mais seguras e sustentáveis e contribuindo para a redução do impacto ambiental e da exposição a substâncias perigosas Mitarlis et al. (2023).

A Química Verde é essencial para promover um ensino experimental mais responsável, integrando a sustentabilidade na formação científica e incentivando a consciência ambiental dos alunos (Nahlik et al., 2023). Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a temática da Química Verde nos documentos curriculares e nos manuais escolares das disciplinas da área da Química, no 3.º ciclo do ensino básico e no ensino secundário, em Portugal. Adicionalmente, procurou-se identificar a eventual proposta de utilização do nitrato de chumbo(II) em atividades laboratoriais, considerando a sua reconhecida toxicidade para a saúde humana e o meio ambiente, e o seu desajustamento face aos princípios de segurança e sustentabilidade que norteiam a Química Verde. Assim, pretendemos responder às seguintes questões de investigação: (1) Quais os documentos curriculares das disciplinas da área da Química, no 3.º ciclo do ensino básico e no ensino secundário, que incluem a Química Verde? Em que anos de escolaridade está presente? (2) Quais os manuais escolares da área da Química adotados no ano letivo 2023/2024, no 3.º ciclo do ensino básico e no ensino secundário, que abordam a Química Verde? (3) Que manuais escolares da área da Química adotados no ano letivo 2023/2024, no 3.º ciclo do ensino básico e no ensino secundário, propõem a utilização do nitrato de chumbo(II) em atividades laboratoriais?

Os resultados fornecem uma análise detalhada sobre a presença dos Princípios da Química Verde nos documentos curriculares e nos manuais escolares de Química em Portugal. Este trabalho apresenta ainda sugestões para promover um ensino de Química mais alinhado com práticas sustentáveis, com o incentivo da substituição do reagente nitrato de chumbo(II) e a incorporação de práticas mais seguras e ecológicas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Desenvolvimento Sustentável, Química Sustentável e Química Verde

A Agenda 2030 da Organização da Nações Unidas é uma estratégia alargada e ambiciosa que aborda várias dimensões do desenvolvimento sustentável (social, económico, ambiental) e que promove a paz, a justiça e instituições eficazes. A Química sustentável reflete-se nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas — especialmente no Objetivo 12, “Consumo e Produção Responsáveis” (Nações Unidas, 2024).

O conceito de Química Verde (QV) surgiu de uma mudança governamental promulgada pela “Lei de Prevenção da Poluição dos Estado Unidos” e que deu origem aos doze Princípios da Química Verde (PQV) enunciados no Green Chemistry: Theory and Practice (Anastas & Warner, 1998), abordados posteriormente no ensino (Bastin & Dicks, 2019; Hoffman & Dicks, 2023). A QV

pressupõe que os processos químicos sejam, por um lado, ambientalmente benignos e que, por outro lado, previnam a poluição, que é um tema que suscita interesse e preocupação dos alunos de cursos de Química (Hjeresen et al., 2000; Raad et al., 2024).

QV e Química Sustentável são conceitos que estão intimamente relacionados e interligados, mas são distintos. Celestino (2023) abordou esta distinção à luz da educação ambiental. A QV abrange o design, síntese e uso de substâncias químicas e processos químicos que têm pouco ou nenhum potencial de poluição ou risco ambiental. A Química Sustentável é o desenvolvimento e a aplicação de substâncias químicas e processos químicos que beneficiam as gerações atuais e futuras sem impactos nocivos para os seres humanos ou os ecossistemas. Em fevereiro de 2023, essa distinção foi esclarecida por uma lista de critérios para atender à definição de Química Sustentável (ECOSChem, 2023). Um exemplo prático, que permite distinguir estes dois conceitos, passa por considerar que um processo químico pode ser assumido como verde, quando há a preocupação de se substituir um solvente orgânico por água, no entanto pode não ser um processo sustentável se a quantidade de água extraída de fontes naturais for em demasia (Kolopajlo, 2017; Mutlu & Barner, 2022).

Para minimizar potenciais impactos negativos no meio ambiente, na sociedade e na economia, é necessário considerar uma abordagem holística para o desenvolvimento de novos processos e produtos químicos (Saraf et al., 2023), inspirada nos doze PQV. Salienta-se que a Química Sustentável está estreitamente relacionada com os doze PQV privilegiando-se os processos de produção que promovem o valor do produto, mas simultaneamente contribuem para a proteção da saúde humana e do meio ambiente (Mutlu & Barner, 2022).

Valderrama et al. (2023) constataram que a química tradicional está em transição para um novo paradigma baseado nos PQV. Por isso, nos últimos anos, aumentou o interesse em introduzir estes princípios nas salas de aula de ciências, nos níveis de ensino básico e secundário, principalmente, através de atividades experimentais (Cannon et al., 2023; Etzkorn, & Fergleson, 2023; Mitarlis et al., 2023; Nahlik et al., 2023). Por exemplo, Mitarlis et al. (2023) demonstraram que é possível reduzir a quantidade de reagentes utilizados sem comprometer os objetivos pedagógicos das práticas laboratoriais. Na atividade de separação de misturas utilizando cristais de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, a redução da massa de 1 g para 0,5 g resultou num tempo de dissolução mais curto e num menor consumo de energia, evidenciando a aplicação dos PQV 1, 5, 6 e 12. Esta abordagem contribui também para a diminuição dos resíduos gerados durante as atividades práticas. No caso da utilização de indicadores ácido-base naturais, a extração de pigmentos de flores de hibisco com água como solvente reflete a aplicação dos PQV 1, 5 e 7. O uso de flores murchas permite reaproveitar recursos sem comprometer outras funções, como a sua utilização ornamental, promovendo práticas mais sustentáveis no ensino da Química e contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, mesmo em contextos de pequena escala.

O ensino da QV, a alunos destes níveis de ensino, revela ter um impacto positivo nas suas atitudes e perceções da química na sociedade através de experiências e demonstrações menos perigosas para a saúde e para o ambiente. Por outro lado, contribui para preparar futuros cidadãos com maior consciência ambiental (Cannon et al., 2023; Nahlik et al., 2023).

Cannon et al. (2023) e Nahlik et al. (2023) também salientam a importância da formação de professores na área da QV para que estes adquiram conhecimento sobre os princípios e as práticas da QV e tenham contacto com atividades laboratoriais mais ecológicas, que substituam

algumas das atividades laboratoriais tradicionais, bem como possam interpretar e analisar métricas de QV com o objetivo de avaliar a sustentabilidade de processos e reações químicas.

Algumas métricas utilizadas na educação ou na investigação em QV no ensino secundário são: (1) a Economia Atômica – se todos os átomos dos reagentes forem incorporados no produto desejado, sem a formação de subprodutos indesejados, então a economia atômica será de 100%; (2) o Fator E (*Environmental*) - uma métrica de desperdício – idealmente deveria ser zero de acordo com o primeiro PQV - Prevenir o desperdício (Sheldon, 2023) e, ainda, (3) a métrica holística da Estrela Verde que permite avaliar a qualidade verde de uma síntese a partir do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS) (Ribeiro et al., 2014).

2.2 Integração da Sustentabilidade e da Química Verde nos Documentos Curriculares e Manuais Escolares

Segundo João et al. (2022), no ensino português tem havido um esforço para integrar as diretrizes internacionais da Educação para o Desenvolvimento Sustentável nos documentos curriculares. Contudo, as três dimensões do desenvolvimento sustentável não são abordadas de forma equilibrada, sendo atribuída maior relevância à dimensão ambiental, seguida da sociocultural, enquanto a dimensão económica está ausente em alguns documentos (João et al., 2022). Verificou-se igualmente que os documentos curriculares da escolaridade obrigatória em Portugal abordam o tema da sustentabilidade de modo limitado e, portanto, os futuros desenhos curriculares devem procurar uma abordagem mais ambiciosa em relação à sustentabilidade (Suárez-López & Eugenio-Gozalbo, 2021). Além do mais, existem diretrizes e um quadro jurídico para a implementação da educação para o desenvolvimento sustentável nos currículos em Portugal (DGE, 2018), contudo não garantem, por si só, a sua operacionalização no ensino e nas escolas (João et al., 2022).

De acordo com investigações internacionais, os manuais escolares têm um papel importante na vida diária de um professor, nomeadamente na seleção de métodos, conteúdos e objetivos educacionais para a preparação das aulas. Continuam a ser uma das principais fontes para projetar o conteúdo das aulas, porque são um meio de tradução do currículo pretendido (Vojíř & Ruked, 2022). Para o aluno, as funções do manual escolar são orientadas para as aprendizagens escolares, como são o caso da transmissão de conhecimentos, desenvolvimento de capacidades e competências e consolidação das aquisições e aprendizagens (Rego et al., 2010). É um recurso educativo que está acessível a todos os alunos independentemente do seu estatuto cultural, socioeconómico ou da zona onde residem. Este aspeto fundamenta a importância da garantia da qualidade deste recurso.

Pereira (2014), num estudo qualitativo das propostas de atividades laboratoriais dos manuais escolares do 8.º ano de Química, que foram editados entre 2007 e 2020, revelou que mais de metade dessas atividades envolvem perigos para os estudantes e/ou professores, de entre os quais se destaca a sugestão de utilização do reagente nitrato de chumbo(II). A inclusão deste composto nas propostas educativas torna-se ainda mais preocupante quando se considera a sua reconhecida toxicidade e os impactos ambientais associados à exposição a metais pesados, como é o caso do chumbo. A consulta de uma ficha de dados de segurança do nitrato de chumbo(II) revela advertências importantes, nomeadamente que, segundo regulamentos dinamarqueses, jovens com menos de 18 anos não estão autorizados a utilizar o produto, e

mulheres grávidas ou lactantes não devem ter contacto direto com a substância (Labbox, 2023). A contaminação dos ecossistemas aquáticos e terrestres por metais pesados tóxicos constitui um problema ambiental e de saúde pública relevante. Sendo poluentes persistentes, os metais pesados acumulam-se no ambiente e, consequentemente, entram nas cadeias alimentares. Esta acumulação representa uma ameaça séria à saúde dos consumidores, incluindo os seres humanos (Ali et al., 2019).

Apesar do crescente reconhecimento da importância da Química Verde para um ensino mais sustentável e responsável, a sua efetiva integração nos documentos curriculares e nos manuais escolares utilizados nas escolas portuguesas necessita de análise aprofundada. Esta lacuna justifica a necessidade de investigar até que ponto os documentos curriculares e os manuais escolares da área da Química, no 3.º ciclo do ensino básico e no ensino secundário, incorporam esta abordagem. Acresce a importância de avaliar se práticas laboratoriais tradicionalmente propostas, com a utilização do nitrato de chumbo(II), persistem nos manuais escolares, apesar dos riscos reconhecidos para a saúde humana e para o ambiente, contrariando os princípios que fundamentam a Química Verde. Neste sentido, esta investigação procura identificar evidências da presença (ou ausência) da temática da Química Verde nos documentos curriculares e nos manuais escolares, em vigor no ano letivo 2023/2024.

3. METODOLOGIA

Esta investigação, de natureza qualitativa, permitiu analisar documentos curriculares e manuais escolares adotados em Portugal em vigor no ano letivo de 2023/2024, nas disciplinas da área da Química, do 3º ciclo do ensino básico e do ensino secundário. Nos termos do Despacho n.º 6605-A/2012, de 6 de julho, os documentos curriculares constituem os referenciais para orientar as diversas dimensões do desenvolvimento curricular, nomeadamente: a) O *Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória* (PASEO), homologado através do Despacho n.º 6478/2017, de 9 de julho; b) As *Aprendizagens Essenciais*, homologadas através dos Despachos n.ºs 6944 -A/2018, de 19 de julho (ensino básico), 8476 -A/2018, de 31 de agosto (ensino secundário), 7414/2020, de 24 de julho (cursos profissionais), e 7415/2020, de 17 de julho (cursos artísticos); c) A *Estratégia Nacional de Educação para a Cidadania*; d) Os perfis profissionais/referenciais de competência, quando aplicável.

As *Aprendizagens Essenciais* (AE) são documentos de orientação curricular e integram orientações ao nível de conhecimentos, capacidades e atitudes, indispensáveis e necessárias à formação do aluno e ao desenvolvimento das áreas de competências inscritas no *Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória*. Estes documentos foram desenvolvidos no seguimento da *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável* da OCDE e publicados em Despacho do Diário da República de Portugal e podem ser consultados na referida página eletrónica da DGE (s.d.).

Neste âmbito, procedeu-se à análise dos documentos curriculares relativos às Aprendizagens Essenciais das disciplinas de Físico-Química do 3.º ciclo do ensino básico (7.º, 8.º e 9.º anos), de Física e Química A (10.º e 11.º anos do ensino secundário) e de Química (12.º ano do ensino secundário), estes dois últimos pertencentes ao Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologias (CT). Foram igualmente consultadas as AE da disciplina de Física e Química, integrada na componente de formação científica dos Cursos Profissionais (CP) do ensino

secundário (Agência Nacional para a Qualificação e o Ensino Profissional, 2020), considerando-se apenas as AE relativas à componente de Química.

De forma a complementar esta análise, foi também considerado o documento oficial *Referencial de Educação Ambiental para a Sustentabilidade* (DGE, 2018) por abordar explicitamente a sustentabilidade e o seu enquadramento nos diferentes níveis de ensino. Este documento apresenta orientações para a integração da educação ambiental nas salas de aulas, como um saber transversal a diferentes áreas do conhecimento, de acordo com diretrizes apresentadas no documento curricular *Estratégia Nacional de Educação para a Cidadania*.

Todos os documentos curriculares identificados foram retirados do sítio da Direção-Geral da educação e perfazem um total de nove documentos, que integram o corpus de análise do presente estudo.

Atendendo aos objetivos da investigação, procedeu-se igualmente à identificação dos manuais escolares adotados a partir da listagem oficial para as disciplinas de Físico-Química, Física e Química A, Química e, ainda, Física e Química do ensino profissional, no ano letivo 2023/2024. Foram identificados dezasseis manuais escolares do 3.º ciclo do ensino básico, dez do ensino secundário e seis do ensino profissional, num total de trinta e dois manuais escolares que também integram o corpus de análise do presente estudo.

Importa salientar que, nas disciplinas de Físico-Química do 3.º ciclo do ensino básico e de Física e Química A do ensino secundário, os manuais escolares são, habitualmente, organizados em dois volumes distintos: um dedicado à componente de Física e outro à de Química. Para este estudo, foram considerados apenas os volumes referentes à componente de Química, excluindo-se os de Física. Nos manuais do ensino profissional da disciplina de Física e Química, apenas foram analisados os módulos referentes à Química.

Para efeitos de organização e clareza na análise, os manuais escolares incluídos foram codificados com identificadores alfanuméricos [M1], [M2], ..., [M32], cuja correspondência com os respetivos manuais se encontra discriminada na Tabela 1.

O acesso às versões digitais dos manuais, este foi realizado através das plataformas online *Escola Virtual* e *Aula Digital*, respetivamente dos *Grupos Porto Editora* e *LeYa*, ambas de acesso reservado e com a obrigatoriedade de registo.

Tabela 1 – Identificação dos manuais escolares adotados

Ano Disciplina	Editora	Autores	Título do Manual Escolar	Cod.
Manuais Escolares Avaliados e Certificados - Nos termos do artigo 12.º da Lei n.º 47/2006, de 28 de agosto, do Decreto-Lei n.º 5/2014, de 14 de janeiro e do Despacho n.º 4947-B/2019, de 16 de maio, nas suas atuais redações.				
7.º Ano (vol. 2)	Físico-Química	Asa Editores II, SA	Beleza, M.D., Neli, M., & Cavaleiro, G. C.	FQ 7 (novo) [M1]
		Porto Editora, S.A.	Maciel, N., Magalhães, A., & Soares, J. M	Protão [M2]
		Lisb.Ed.,S.A/Raiz Ed.	Amaro, A., & Alexandre, P.	Para descobrir FQ 7 [M3]
		Areal Editores, SA	Gomes, A. A. & Sousa, B. S.	FAQ 7 [M4]
		Texto Editores, Lda.	Costa, S., Fiolhais, C., Fiolhais, M., Morais, C., & Paiva, J.	Universo 7 (novo) [M5]
		Porto Editora, S.A.	Januário, D. N., & Correia, E. C., & Brás, C.	Experimenta 7 [M6]
8.º Ano (vol. 1)		Porto Editora, S.A.	Brás, C., Januário, D. N., & Correia, E. C.	Experimenta 8 [M7]
		Areal Editores, SA	Gomes, A. A., Cunha, C. J., & Sousa, B. S.	FAQ 8 [M8]
		Porto Editora, S.A.	Maciel, N., Cação, A., Magalhães, A., & Soares, J. M	Neutrão [M9]
		Asa Editores II, SA	Beleza, M.D., Neli, M., & Cavaleiro, G. C.	FQ 8 [M10]
		Texto Editores, Lda.	Costa, S., Fiolhais, C., Fiolhais, M., Morais, C., & Paiva, J.	Universo 8 [M11]
9.º ano (vol. 2)	Porto Editora, S.A.	Januário, D. N., & Correia, E. C., & Brás, C.	Experimenta 9 [M12]	
	Areal Editores, SA	Gomes, A. A. & Sousa, B. S.	FAQ 9 [M13]	
	Porto Editora, S.A.	Maciel, N., Cação, A., Magalhães, A., & Soares, J. M	Eletrão [M14]	
	Asa Editores II, SA	Beleza, M.D., Neli, M., & Cavaleiro, G. C.	FQ 9 [M15]	
	Texto Editores, Lda.	Costa, S., Fiolhais, C., Fiolhais, M., Morais, C., & Paiva, J.	Universo FQ 9 [M16]	
Manuais Escolares (com revisão científica)				
10.º ano	Física e Química A	Porto Editora, S.A.	Silva, C. C., Cunha, C., & Vieira, M.	Química em Reação 10 [M17]
		Texto Editores, Lda.	Paiva, J., Matos, M. G., Morais, C., & Fiolhais, C.	10 Q [M18]
		Areal Editores, SA	Rodrigues, C., Santos, L., Miguelote, L., & Santos, P.	Rumo à Química 10 [M19]
		Texto Editores, Lda.	Dantas, M. C., Fontinha, M. T., & Ramalho, M. D.	Jogo de Partículas 10 [M20]
11.º ano		Porto Editora, S.A.	Silva, C. C., & Cunha, C	Química em Reação 11 [M21]
		Texto Editores, Lda.	Paiva, J., Matos, M. G., Morais, C., & Fiolhais, C.	11 Q [M22]
		Areal Editores, SA	Rodrigues, C., Santos, L., Miguelote, L., & Santos, P.	Rumo à Química 11 [M23]
		Texto Editores, Lda	Fontinha, M. T., Ramalho, M. D., & Jesus, P. A.	Jogo de Partículas 11 [M24]
12.º ano	Quim	Porto Editora, S.A.	Silva, C. C., & Cunha, C	Química em Reação 12 [M25]
		Texto Editores, Lda.	Paiva, J., Ferreira, A. F., Vale, J., & Morais, C.	12 Q [M26]
10.º 11.º 12.º CP	Física e Quím.	Areal Editores, SA	Amaro, A., Silva, M., & Raimundo, T.	Química - M. 1, 2, 3 [M27]
		Areal Editores, SA	Amaro, A., Silva, M., & Raimundo, T.	Química - M. 4, 5, 6, 7 [M28]
		Porto Editora, S.A.	Ferreira, C., Fernandes, E., & Santos, S. D.	Projeto Química - M. 1 a 3 [M29]
		Porto Editora, S.A.	Ferreira, C., & Santos, S. D.	Projeto Química - M. 4 a 7 [M30]
		Texto Editores, Lda.	Fontinha, M. T., Ramalho, M. D., & Jesus, P. A.	Pro em Química - M. 1 a 3 [M31]
		Texto Editores, Lda.	Fontinha, M. T., Ramalho, M. D., & Jesus, P. A.	Pro em Química - M. 4 a 7 [M32]

Nesta análise qualitativa de conteúdo, com recurso à técnica de análise de frequência lexical, foi utilizada a ferramenta de pesquisa "Localizar", identificada pelo ícone de uma lupa, para a procura, nos documentos em formato PDF e nos manuais escolares digitais, os seguintes termos: sustentabilidade, sustentável, sustentáveis, química verde e nitrato de chumbo(II). Esta decisão metodológica fundamenta-se na constatação de que a linguagem empregue nos documentos em análise nem sempre adota uma terminologia técnica unificada. Assim, a presença de ideias alinhadas com a QV pode surgir sob formas lexicalmente distintas, mas conceitualmente convergentes. A inclusão de termos mais amplos permitiu captar tanto menções explícitas quanto abordagens implícitas ou transversais, assegurando uma leitura mais sensível e representativa do corpus. Ao ampliar o espectro lexical analisado, procurou-se evitar a limitação de uma pesquisa centrada exclusivamente num único termo, o que poderia conduzir à subestimação da presença efetiva do tema no material em estudo (Bardin, 2014). Além disso, tópicos implicitamente

relacionados com sustentabilidade, como reciclagem, reutilização, energias renováveis, mudança climática e efeito estufa, foram igualmente considerados nos resultados apresentados a seguir. O termo nitrato de chumbo(II) foi incluído como exemplo lexical contrastivo, na identificação de práticas laboratoriais potencialmente contraditórias com os princípios da sustentabilidade. A escolha deste composto deve-se à sua toxicidade e persistência ambiental, podendo funcionar como marcador de propostas laboratoriais desajustadas às atuais orientações para uma Química segura, ecológica e pedagógica.

4. RESULTADOS

4.1 Análise dos documentos curriculares

A análise dos documentos curriculares evidencia que os conteúdos relacionados com a QV e a Química Sustentável encontram enquadramento curricular nas AE das disciplinas da área da Química, mas também na *Estratégia Nacional de Educação para a Cidadania*, através do *Referencial de Educação Ambiental para a Sustentabilidade*, no qual é referido: “Os três pilares da sustentabilidade - económico, social e ambiental - foram integrados no currículo, passando a educação ambiental a ser abordada de uma forma integrada” (DGE, 2018, p. 12). Contribuem para este efeito as disciplinas de Geografia, Ciências Naturais e Físico-Química que podem abordar transversalmente temas como a gestão adequada dos recursos naturais, numa perspetiva de educação para a cidadania. O mesmo se passa quando se analisa o documento do PASEO. Um dos doze princípios que orienta que justifica e dá sentido ao referido perfil, é o princípio G. *Sustentabilidade*: “A escola contribui para formar nos alunos a consciência de sustentabilidade, um dos maiores desafios existenciais do mundo contemporâneo” (...) (DGE, 2017, p. 14).

A frequência com que os termos de pesquisa surgiram nos documentos curriculares está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Frequência dos termos de pesquisa nos documentos curriculares

Documento Curricular	sustentabilidade	sustentável	química verde	química sustentável	nitrato de chumbo(II)
AE - FQ 7.º	1	-	-	-	-
AE - FQ 8.º	2	1	-	-	-
AE - FQ 9.º	1	-	-	-	-
AE - FQA 10.º - CT	-	3	-	-	-
AE - FQA 11.º - CT	1	1	1	-	-
AE - Q 12.º - CT	-	3	-	-	-
AE - FQ – CP	4	4	2	-	-
Ref. Educ. Amb. Sustent.	96	96	-	-	-
PASEO	5	3	-	-	-

Constata-se que a temática da QV apenas é referida de forma explícita nos documentos curriculares AE ao nível do 11º ano de escolaridade, do curso de ciências e tecnologias, e nos módulos Q2 e Q3 de Química do ensino profissional (Tabela 2). Os termos de pesquisa, química sustentável e nitrato de chumbo(II), não são referidos em qualquer um dos documentos curriculares. Quanto aos termos sustentabilidade e sustentável, surgiram de forma residual nos documentos curriculares, com exceção do *Referencial de Educação Ambiental para a*

Sustentabilidade, onde são mencionados em número relevante, o que mostra a importância deste documento transversal na educação para a cidadania. Neste documento, a pesquisa devolveu 245 termos de sustentabilidade a que foram subtraídos 149 por estarem incluídos na formatação de cada página, sendo considerados apenas 96 termos. Esta diferença explica-se pela natureza e objetivos distintos dos documentos e, portanto, expectável e coerente com o propósito específico do documento, refletindo a sua função transversal no reforço da educação para a cidadania e na integração da sustentabilidade no currículo escolar.

Numa análise de conteúdo, examinaram-se os documentos das AE para identificar as que estavam relacionadas com a sustentabilidade—seja ambiental, económica ou social—e com a QV (Tabela 3). O objetivo foi verificar se estes temas estavam presentes de forma implícita, não sendo capturados pelos termos de pesquisa previamente utilizados. Para isso teve-se em conta os termos de pesquisa: reciclagem, reutilização, energias renováveis, mudança climática, efeito de estufa, assim como outros relacionados com a sustentabilidade.

Tabela 3 – AE que se relacionam com a Sustentabilidade e a QV nos documentos das AE

Ano de Escolaridade	7.º	8.º	9.º	10.º CT	11.º CT	12.º CT	10.º ao 12.º CP
AE	5	2	1	5	10	10	10

Da análise anterior, constatou-se que as AE do ensino básico e do ensino secundário, na componente de Química, abordam principalmente dois Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: o número 12, "Consumo e Produção Responsáveis", e o número 13, "Ação Climática". No 3.º ciclo do ensino básico, o número de AE relacionadas com a sustentabilidade diminui ao longo dos três anos (de cinco no 7.º ano para uma no 9.º ano). Em contrapartida, no ensino secundário regular, observa-se um aumento (de cinco no 10.º ano para dez no 12.º ano no curso de CT). É importante notar que, na introdução de cada documento das AE, há uma preocupação em fornecer orientações gerais para a integração da sustentabilidade nas temáticas de Química, tornando os assuntos pertinentes e relevantes para os alunos no contexto atual.

No documento *Referencial de Educação Ambiental para a Sustentabilidade*, dirigido aos alunos da educação pré-escolar, do ensino básico e do ensino secundário, identificaram-se temáticas transversais que pretendem contribuir para a mudança de comportamento e de atitudes face ao ambiente (Tabela 4).

Tabela 4 – Temas transversais de educação ambiental para a sustentabilidade

Documento Curricular	Temas transversais
Referencial de Educação Ambiental para a Sustentabilidade	- Sustentabilidade, Ética e Cidadania - Produção e Consumo Sustentáveis - Território e Paisagem - Alterações Climáticas - Biodiversidade - Energia - Água - Solos - Economia Verde: linear e circular - Crescimento Verde

4.2 Análise dos manuais escolares adotados de Físico-Química, Física e Química A, Química, e Física e Química do ensino profissional

De acordo com a codificação dos manuais escolares apresentados na Tabela 1, procedeu-se à recolha dos termos de pesquisa nas versões digitais de cada manual. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados na Tabela 5.

Tabela 5 – Frequência dos termos de pesquisa nos manuais escolares adotados

Ano de Escolaridade	Manual escolar	Sustentabilidade	sustentável	química verde	química sustentável
7.º	[M1]	9	-	-	-
	[M2]	6	5	-	-
	[M3]	4	2	1	-
	[M4]	2	3	1	-
	[M5]	6	5	-	-
	[M6]	4	6	6	-
8.º	[M7]	-	4	5	-
	[M8]	-	3	-	-
	[M9]	-	-	-	-
	[M10]	-	-	-	-
	[M11]	1	-	-	-
9.º	[M12]	12	-	-	-
	[M13]	3	-	1	-
	[M14]	2	-	-	-
	[M15]	2	2	-	-
	[M16]	2	-	-	-
10.º	[M17]	1	1	-	-
	[M18]	3	-	-	-
	[M19]	-	-	-	-
	[M20]	-	-	-	-
11.º	[M21]	4	4	11	-
	[M22]	11	15	15	-
	[M23]	1	5	14	-
	[M24]	4	-	19	-
12.º	[M25]	8	25	1	-
	[M26]	2	25	-	-
10.º ao 12.º CP	[M27]	2	3	-	-
	[M28]	2	3	1	-
	[M29]	7	4	1	-
	[M30]	10	8	1	-
	[M31]	4	2	1	-
	[M32]	6	7	2	-

Pela frequência dos termos de pesquisa, pode-se constatar que não há uma distribuição uniforme nos diferentes anos de escolaridade. Os termos “sustentabilidade” e “sustentável” têm uma maior presença nos manuais do 7.º, 9.º, 11.º e 12.º anos do ensino regular e do 10.º ao 12.º ano, no ensino profissional. O termo “química verde” está bastante presente nos manuais escolares do 11.º ano, mas também aparece referenciado em alguns manuais escolares dos restantes anos de escolaridade, exceto nos do 10.º ano. O termo “química sustentável” não surge explicitamente em qualquer manual escolar.

4.3 O nitrato de chumbo(II) nas propostas de atividades laboratoriais dos manuais escolares

Foram analisadas as atividades laboratoriais (AL) propostas nos documentos das Aprendizagens Essenciais (AE), totalizando 38 atividades, distribuídas da seguinte forma: 8 no 7.º ano, 8 no 8.º ano, 1 no 9.º ano, 6 no 10.º ano, 5 no 11.º ano, 5 no 12.º ano e 5 nos cursos profissionais (CP). As AL propostas para execução que incluem a utilização do reagente nitrato de

chumbo(II) foram identificadas apenas nos manuais escolares adotados (Tabela 6), não estando presentes nos documentos de AE (Tabela 2). No 7.º ano, o nitrato de chumbo(II) é sugerido numa atividade de demonstração de uma reação química, permitindo aos alunos observar a formação de um precipitado amarelo de iodeto de chumbo(II) e a mudança de cor associada. No 8.º ano, é utilizado em duas atividades distintas: uma dedicada à verificação da lei da conservação da massa e outra à demonstração de reações de precipitação. As mesmas atividades são também propostas nos cursos profissionais. No total, foram identificadas três atividades laboratoriais que recorrem a este reagente, apesar de se tratar de uma substância tóxica para a saúde humana e para o ambiente, com especial impacto nos organismos aquáticos.

Tabela 6 – Manuais escolares que propõem a utilização do nitrato de chumbo(II) em AL

Ano	Manuais escolares					n
7.º	[M1]	[M5]	-	-	-	2
8.º	[M7]	[M8]	[M9]	[M10]	[M11]	5
Cursos Prof.	[M29]	[M31]				2

Também se verificou que os manuais escolares do 7.º ano, [M2] e [M3], e do 11.º ano, [M23], contêm exemplos com ilustrações da utilização do reagente nitrato de chumbo(II), mas não sugerem a sua utilização em atividades laboratoriais.

5. DISCUSSÃO

Consideramos que a limitação desta investigação passa pela análise implícita da presença da sustentabilidade e da QV nas AE através de outros termos de pesquisa. A utilização da ferramenta de pesquisa “Localizar” nos documentos em formato PDF e nos manuais escolares digitais devolveu o número de termos de pesquisa, pelo que não foram considerados os que se repetiam com mesmo assunto e/ou estavam na mesma página do manual escolar. Contudo, a análise realizada permitiu identificar a presença da sustentabilidade e da QV nos documentos curriculares, cuja discussão é apresentada a seguir.

5.1 Discussão dos resultados da análise dos documentos curriculares

Os resultados mostram a presença limitada da palavra sustentabilidade e muito limitada da QV nos documentos das AE da componente de Química, havendo um predomínio da dimensão ambiental da sustentabilidade. Este resultado corrobora os estudos de Suárez-López e Eugenio-Gozalbo (2021) e de João et al. (2022).

A Química está intrinsecamente ligada ao meio ambiente, um dos pilares do desenvolvimento sustentável, pelo que consideramos que a inclusão da QV como um conceito holístico e relevante nos ensinos básico e secundário é plenamente justificada (Jusniar et al., 2023). No entanto, este estudo revelou que a abordagem da sustentabilidade nas AE, no contexto da Química Sustentável e da QV, é simplista e não estabelece uma interligação explícita com alguns dos PQV. Por esta razão, foi identificado o número de AE que, em cada ano de escolaridade, abordam explícita ou implicitamente a sustentabilidade (ambiental, económica ou social) e a QV (Tabela 3). É, no entanto, de salientar que as AE proporcionam flexibilidade para que cada escola e professor explorem os conteúdos de Química com diferentes níveis de

profundidade, promovendo uma abordagem mais sustentável e alinhada com a QV. Esta flexibilidade permite ainda a operacionalização dos PQV tanto no contexto das práticas laboratoriais como na sua aplicação à indústria e a exemplos concretos do quotidiano. Mas, para que a integração da QV nos ensinos básico e secundário seja efetiva, é fundamental que os professores disponham de condições laboratoriais, manuais escolares e outros recursos didáticos que ofereçam atividades diversificadas, apoiando-os nessa tarefa. Sem esses recursos, corre-se o risco de o conceito de QV não ser adequadamente abordado em sala de aula. O professor não tem poder para definir unilateralmente as condições laboratoriais. Estas decorrem de fatores institucionais e regulamentares (DGE, 2003). O professor atua dentro das condições existentes, podendo, no entanto, influenciar melhorias através da sua ação pedagógica. Para isso, a formação contínua dos professores em QV é igualmente essencial. Profissionais que concluíram a sua formação antes da integração da QV na escola, ou que não possuem habilitação profissional, podem sentir-se inseguros ao abordar estes temas (Suárez-López & Eugenio-Gozalbo, 2021). Consideramos que a inserção de novas práticas pedagógicas relacionadas com a QV nos currículos de formação docente ainda enfrenta desafios, refletindo-se na abordagem destes conteúdos de maneira desigual entre diferentes escolas e alunos. Além disso, a obrigatoriedade da disciplina de Físico-Química termina no final do 3.º ciclo do ensino básico, o que limita o tempo disponível para a introdução e aprofundamento de conceitos de QV. Portanto, é fundamental que os professores estejam bem preparados e disponham de recursos adequados para integrar efetivamente a QV nas suas práticas pedagógicas, garantindo uma formação mais completa e consciente aos alunos.

5.2 Discussão dos resultados da análise dos manuais escolares

Nos manuais escolares do 3º ciclo do ensino básico, verificou-se que há a introdução do conceito de QV (Tabela 5), apesar de não estar explícito nas AE (Tabela 2). Se apenas forem considerados os manuais do 7.º ano, o primeiro ano em que a matriz curricular inclui a disciplina de Físico-Química, constata-se que, dos seis manuais escolares certificados, três deles não fazem qualquer abordagem ao conceito de QV, dois fazem uma breve abordagem teórica à QV e um deles aborda o conceito, não somente do ponto de vista teórico, como explicita de um modo prático a forma de poder implementar alguns dos PQV nas atividades laboratoriais propostas. Esta análise evidencia que as AE oferecem orientações limitadas quanto à abordagem da QV, embora garantam aos professores a liberdade para integrar este conceito, como já foi referido.

No caso particular do 7º ano, verifica-se que os alunos, consoante o manual adotado, têm acesso a diferentes níveis de abordagem da QV, variando entre a ausência de referência ao conceito e a inclusão de atividades laboratoriais alinhadas com os seus princípios. Esta disparidade pode gerar desigualdades na formação científica dos alunos, corroborando uma das conclusões do estudo de Melo e Souza (2022). Quando as AE são mais claras e explícitas, como no caso das “energias renováveis”, presentes em todos os manuais, estas diferenças tendem a ser atenuadas.

No ensino secundário, a QV faz parte das AE no 11.º ano de escolaridade. Por esta razão, como as AE incluem explicitamente o conceito de QV, todos os manuais escolares do 11.º ano da componente de Química abordam esta temática. Contudo, tal como acontece nos manuais do 3.º ciclo do ensino básico, a interpretação e aplicação dos conteúdos solicitados nos documentos curriculares é diferente de manual para manual. Um exemplo disto é a abordagem às métricas da

QV, em que apenas um dos manuais escolares aborda a métrica - Fator E. Esta heterogeneidade compromete a equidade na formação científica e traduz-se em assimetrias no desenvolvimento de competências essenciais à construção de uma cidadania crítica e responsável.

5.3 Discussão de resultados da análise das atividades laboratoriais com a proposta de uso do nitrato de chumbo(II)

No 3.º ciclo do ensino básico, continua a ser comum a proposta da utilização do nitrato de chumbo(II) para exemplificar uma reação de precipitação, situação anteriormente identificada por Pereira (2014) num estudo com manuais escolares vigentes à época, anteriores aos atualmente adotados. Este reagente está sugerido em todos os manuais escolares do 8.º ano (Tabela 6) e em alguns do 7.º ano, assim como dos cursos profissionais, apesar de não estar mencionado em nenhum documento curricular (Tabela 2). É importante salientar que nem todos os manuais escolares contêm os pictogramas de perigo deste reagente ou informações de segurança. A única melhoria identificada nos manuais foi a sugestão de realizar a experiência com nitrato de chumbo(II) em microescala, conforme indicado em [M7] e [M8], ou de utilizar até dez gotas dos reagentes com o uso de tubos de ensaio. Este procedimento está alinhado com o PQV 1 – Redução de Resíduos. No entanto, verifica-se que, frequentemente, os professores não reconhecem esta prática como parte dos PQV, devido a uma compreensão limitada destes princípios (Jusniar et al., 2023).

A toxicidade (Labox, 2023) e o impacto ambiental do nitrato de chumbo(II) justificam a sua substituição por reagentes mais sustentáveis, eliminando a sua recomendação nos manuais escolares. Esta mudança, alinhada com os PQV, contribui para sensibilizar os alunos para práticas laboratoriais seguras e promover competências de sustentabilidade, em conformidade com o documento PASEO (DGE, 2017).

Existem alternativas ao reagente nitrato de chumbo(II), na realização de atividades laboratoriais que envolvem reações de precipitação. Uma das alternativas é o recurso a reações de precipitação com sais de carbonatos, nomeadamente o carbonato de cálcio. Fonseca (2023) apresenta uma proposta de reações de precipitação de carbonato de cálcio a partir dos sais de carbonato de sódio e cloreto de cálcio realizada em microescala. É um procedimento mais seguro para os alunos e professores em que as reações químicas apresentam um melhor alinhamento segundo os PQV.

Outros procedimentos podem ser integrados nas aulas de Química e interligados com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, nomeadamente o objetivo 12 (consumo e produção responsáveis) e o objetivo 13 (mudança climática) e, ainda, associados aos PQV. A Química tem conceitos que devem ser estudados em atividade laboratoriais e, por isso, requerem reagentes químicos. Neste contexto, as atividades laboratoriais são uma boa forma de poder introduzir a QV orientada para os PQV, principalmente através dos princípios: (1) prevenção de resíduos; (5) usar solvente seguro; (6) eficiência energética; (7) uso de matéria-prima renovável e (12) minimizar o potencial de acidentes (Mitarlis et al., 2023). A introdução desses PQV explicitamente nos documentos curriculares e nos manuais escolares são uma forma de consciencializar o aluno para a sua importância e de promover atitudes sustentáveis através das aulas de Química.

6. CONCLUSÕES

Embora não existam AE explícitas relativas à QV na disciplina de Físico-Química do 3.º ciclo do ensino básico, as AE relacionadas com a sustentabilidade, revelam-se redutoras e limitadas. Esta lacuna conduz a variadas interpretações e, conseqüentemente, a uma ampla diversidade de abordagens sobre sustentabilidade nos manuais escolares. Tal diversidade poderá potenciar aprendizagens distintas de aluno para aluno, colocando em causa a consistência e coerência no desenvolvimento de uma educação científica equitativa, principalmente nos casos em que não sejam feitas referências ao assunto ou que este seja abordado de forma muito superficial. No ensino secundário, a QV apenas surge explicitamente no 11.º ano do curso de CT e nos módulos Q2 e Q3 do ensino profissional. Observa-se, contudo, um aumento das AE relacionadas com sustentabilidade neste ciclo de ensino, refletindo um esforço de integração progressiva.

No que diz respeito aos manuais escolares do ano letivo 2023/2024, nem todos fazem referência explícita à QV, no 3.º ciclo do ensino básico, o que poderá ser justificado pela ausência deste conceito nas AE da disciplina. No ensino secundário, a inclusão formal da QV constitui um passo relevante, mas exige maior uniformidade na sua abordagem, de forma a assegurar uma aprendizagem equitativa e o desenvolvimento da consciência ambiental dos alunos.

Adicionalmente, constata-se que ainda existem nove manuais escolares (Tabela 6) que propõem a utilização da solução aquosa de nitrato de chumbo(II) nas atividades laboratoriais, alguns recorrendo já à execução em microescala, enquanto outros sugerem a realização da reação em tubo de ensaio, o que constitui um aspeto a valorizar.

Dado o caráter muito tóxico desta substância, é importante considerar a sua substituição por outras alternativas nas propostas de atividades laboratoriais. É essencial considerar as alternativas para substituir os protocolos com nitrato de chumbo(II), aproveitando a perspetiva didática dessa substituição para abordar os PQV nos 7.º e 8.º anos e no ensino profissional.

Sendo o 3.º ciclo do ensino básico o último contacto com a área da Química para muitos alunos, e, portanto, a base da sua formação científica, a abordagem do tema da QV torna-se necessária e, portanto, há ainda um caminho a percorrer no sentido de introduzir, neste nível de ensino, estes conteúdos de forma objetiva e explícita nas AE da disciplina de Físico-Química. As aulas de Química, para todos os alunos, guiadas pelos PQV são importantes para desenvolver as competências necessárias a um compromisso interventivo na sociedade para a sustentabilidade do Planeta, de modo a construírem uma consciência coletiva para uma melhor gestão dos recursos naturais e assim se formarem cidadãos intervenientes de forma consciente e empenhada em questões cívicas.

7. IMPLICAÇÕES

Na sequência da investigação realizada sugere-se, numa perspetiva de aprofundamento e interdisciplinaridade, ampliar este estudo aos manuais escolares da componente de Física, excluídos nesta investigação, nomeadamente avaliando a eficiência energética dos materiais utilizados e respetivos impactes ambientais. Sugere-se ainda que, nos manuais escolares de Química, se desenvolva uma pesquisa mais alargada que permita identificar a presença de outros reagentes que não sejam “verdes” e se criem alternativas para a sua substituição.

Como resultado da investigação realizada, oferecem-se recomendações dirigidas aos diferentes intervenientes do ensino da Química. Para os autores de manuais escolares sugere-se que as futuras edições considerem as recomendações feitas neste estudo quanto ao reagente nitrato de chumbo(II). Para as entidades responsáveis pela atualização dos documentos curriculares, destaca-se a necessidade de incluir, de forma clara e inequívoca, a abordagem dos PQV, adaptada ao nível de escolaridade, garantindo que todos os alunos tenham contacto com estes princípios essenciais para uma formação científica sustentável.

Recomenda-se, ainda, que os professores orientem a sua atividade pedagógica, reforçando práticas laboratoriais mais seguras e sustentáveis nas atividades em que sejam utilizados reagentes que requeiram cuidados acrescidos, bem como promovendo uma abordagem reflexiva e de tomada de decisão sobre os conteúdos apresentados nos manuais escolares, de modo a garantirem uma educação química alinhada com os desafios ambientais atuais.

Seria importante que futuramente o adjetivo “verde” fosse desnecessário e que toda a Química fosse ensinada como verde (Etzkorn & Ferguson, 2023). Encontrar alternativas aos reagentes não verdes para reagentes ambientalmente mais sustentáveis, nomeadamente utilizando reagentes provenientes de fontes renováveis, e explicar essa mudança aos alunos, é um primeiro passo para sensibilizá-los para a QV e, por sua vez, procurar desenvolver atitudes e competências de sustentabilidade de acordo com o Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do CQC — Centro de Química de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (projetos UIDB/00313/2020 e UIDP/00313/2020), do CIQUP — Centro de Investigação em Química da Universidade do Porto, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (projeto UIDB/00081/2020) e do IMS — Instituto de Ciências Moleculares (projeto LA/P/0056/2020). Agradecemos igualmente o apoio do programa *Recuperar Portugal*, através do investimento RE-C06-i04 - Impulso Jovens STEAM, no âmbito do projeto *Living the Future Academy*, financiado pelo PRR - Plano de Recuperação e Resiliência e pelos fundos europeus *Next Generation EU*.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional para a Qualificação e o Ensino Profissional (ANQEP). (2020). *Aprendizagens essenciais - cursos profissionais*. Física e Química. <https://www.anqep.gov.pt/np4/476.html>
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019, Article ID 67303056730305. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.
- Bardin, L. (2014). *Análise de conteúdo*. Edições 70.
- Bastin, L. D., & Dicks, A. P. (2019). Advances in green chemistry education. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 12(2), 101-101. <https://doi.org/10.1080/17518253.2019.1621059>
- Cannon, A. S., Anderson, K. R., Enright, M.C., Kleinsasser, D. G., Klotz, A. R., O'Neill, N. J., & Tucher, L. J. (2023). Green Chemistry Teacher Professional Development in New York State High Schools: A Model for Advancing Green Chemistry. *Journal of Chemical Education* 100 (6), 2224-2232.

<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c01173>

- Celestino, T. (2023). High School Sustainable and Green Chemistry: Historical–Epistemological and Pedagogical Considerations. *Sustainable Chemistry*, 4(3), 304–320. <https://doi.org/10.3390/suschem4030022>
- Direção-Geral da Educação. (2003). *Manual de utilização segura dos laboratórios escolares*. Ministério da Educação. https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Esaude/manual_utilizacao_seguranca_escolas.pdf
- Direção-Geral da Educação (DGE). (2017). *Perfil dos alunos à saída da escolaridade obrigatória*. Ministério da Educação. https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Projeto_Autonomia_e_Flexibilidade/perfil_dos_alunos.pdf
- Direção-Geral da Educação (DGE). (2018). *Referencial de educação ambiental para a sustentabilidade para a educação pré-escolar, o ensino básico e o ensino secundário*. Ministério da Educação. https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/ECidadania/ref_sustentabilidade.pdf
- Direção-Geral da Educação (DGE). (s.d.). *Currículo*. <https://www.dge.mec.pt/curriculo-nacional#>
- Etzkorn, F. A., & Ferguson, J. L. (2023). Integrating green chemistry into chemistry education. *Angewandte Chemie International Edition*, 62(2), e202209768. <https://doi.org/10.1002/anie.202209768>
- Expert Committee on Sustainable Chemistry (ECOSChem). (2023). *Defining sustainable chemistry: Report*. Lowell Center for Sustainable Production & Beyond Benign. <https://static1.squarespace.com/static/633b3dd6649ed62926ed7271/t/63ed54f40173a27145be7f74/1676498167281/Defining-Sustainable-Chemistry-Report-Feb-2023.pdf>
- Fonseca, P. J. M. (2023). *A Química Verde e Estações Laboratoriais de Física como Propostas Didáticas no Ensino Básico* [Dissertação de Mestrado, Universidade de Coimbra]. Repositório Científico da Universidade de Coimbra. <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/110735?mode=full>
- Gericke, N., Höglström, P., & Wallin, J. (2022). A systematic review of research on laboratory work in secondary school. *Studies in Science Education*, 59(2), 245–285. <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2090125>
- Hjeresen, D. L., Boese, J. M., & Schutt, D. L. (2000). Green chemistry and education. *Journal of Chemical Education*, 77(12), 1543. <https://doi.org/10.1021/ed077p1543>
- Hoffman, K. C., & Dicks, A. P. (2020). Shifting the paradigm of chemistry education by Greening the high school laboratory. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 16, 100242. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100242>
- Hoffman, K. C., & Dicks, A. P. (2023). Incorporating the United Nations Sustainable Development Goals and green chemistry principles into high school curricula. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 16(1), 2185108. <https://doi.org/10.1080/17518253.2023.2185108>
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28–54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- João, P., Sá, P., Henriques, M. H., & Rodrigues, A. V. (2022). Sustainable Development in Basic Education Sciences in Portugal—Perspective of Official Curriculum Documents. *Sustainability*, 14(9), 5651. <https://doi.org/10.3390/su14095651>
- Jusniar, J., Syamsidah, & Auliah, A. (2023). Teacher’s and Student’s Perceptions of Green Chemistry and its Principles in Chemistry Learning in High Schools. *Journal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(10), 7924–7934. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i10.4756>
- Kolopajlo, L. (2017). Green chemistry pedagogy. *Physical Sciences Reviews*, 2(2), 20160076. <https://doi.org/10.1515/psr-2016-0076>
- Labbox (2023). Ficha de dados de segurança - UN1469 Lead (II) nitrate AGR. https://labbox.eu/wp-content/uploads/FDS/SDS_PT_10294.pdf
- Melo, E. C. de, & Souza, K. dos S. de. (2022). Green chemistry in chemistry teaching: A review between 2011 and 2021 from scientific journals. *Research, Society and Development*, 11(9), e43711931981. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31981>

- Mitarlis, M., Azizah, U., & Yonata, B. (2023). The integration of green chemistry principles in basic chemistry learning to support achievement of Sustainable Development Goals (SDGs) through education. *Journal of Technology and Science Education*, 13(1), 233-254. <https://doi.org/10.3926/jotse.1892>
- Mutlu, H., & Barner, L. (2022). Getting the terms right: green, sustainable, or circular chemistry?. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 223(13), 2200111. <https://doi.org/10.1002/macp.202200111>
- Nações Unidas (2024). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. <https://unric.org/pt/objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel/>
- Nahlik, P., Kempf, L., Giese, J., Kojak, E., & Daubenmire, P. L. (2023). Developing green chemistry educational principles by exploring the pedagogical content knowledge of secondary and pre-secondary school teachers. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 24, 283-298. <https://doi.org/10.1039/D2RP00229A>
- Pereira, M. (2014). *Verdura Química de Atividades Laboratoriais-Avaliação de Manuais do Ensino Básico*. [Tese de Mestrado, Universidade do Porto]. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/77332/2/33464.pdf>
- Raad, I. H. de, Iltes, M., Kosjakova, O., Meerholz, A., Portocarrero Gamarra, A., Tilquin, J., Helsloot, S., Jolivet, R. B., Phillips, G., Bauer, J., & Dziubinska-Kuehn, K. M. (2024). Evaluating the environmental impact of chemistry education: A pilot extracurricular activity for undergraduate students. *Journal of Chemical Education*, 101(4), 4756–4764. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00456>
- Rego, B., Gomes, C., & Balula, J. (2010). *A avaliação e certificação de manuais escolares em Portugal: um contributo para a excelência*. Évora: Universidade de Évora. https://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/1483/1/Rego_Gomes_%26_Balula%282012%29.pdf
- Ribeiro, M. G. T. C., Yunes, S. F., & Machado, A. A. S. C. (2014). Assessing the Greenness of Chemical Reactions in the Laboratory Using Updated Holistic Graphic Metrics Based on the Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals. *Journal of Chemical Education* 91 (11), 1901-1908. <https://doi.org/10.1021/ed400421b>
- Sánchez Morales, R., Sáenz-López, P., & de las Heras Perez, M. A. (2024). Green Chemistry and Its Impact on the Transition towards Sustainable Chemistry: A Systematic Review. *Sustainability*, 16(15), 6526. <https://doi.org/10.3390/su16156526>
- Saraf, M., Roy, M. A., Yarur Villanueva, F., Kundu, A., Tran, H. V., Ghosh, M., Ezenwa, S., Gastelu, G., Prebihalo, M. A., Cala, L. J., Cleary, S. R., Devineni, G., Lee, G. A., Umenweke, G. C., Koby, R. F., Nixon, R., Voutchkova, A., & Moores, A. (2023). Perspectives from the 2022 Cohort of the American Chemical Society Summer School on Green Chemistry & Sustainable Energy. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(38), 13822-13835. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c02935>
- Sheldon, R. A. (2023). The E factor at 30: a passion for pollution prevention. *Green Chem.*, 25, 1704-1728. <https://doi.org/10.1039/D2GC04747K>
- Suárez-López, R., & Eugenio-Gozalbo, M. (2021). How is sustainability addressed in primary and secondary education curricula? Assessing the cases of Spain and Portugal. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 31(2), 106-122. <https://doi.org/10.1080/10382046.2021.1924498>
- Valderrama, C. J., Morales Huamán, H. I., Valencia-Arias, A., Coronado, M. H., Cardona-Acevedo, S., & Delgado-Caramutti, J. (2023). Trends in Green Chemistry Research between 2012 and 2022: Current Trends and Research Agenda. *Sustainability*, 15(18), 13946. <https://doi.org/10.3390/su151813946>
- Vojíř, K., & Rusek, M. (2022). Of teachers and textbooks: lower secondary teachers' perceived importance and use of chemistry textbook components. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 23, 786-798. <https://doi.org/10.1039/D2RP00083K>