



QUÍMICA VERDE E SUSTENTABILIDADE NO ENSINO DE QUÍMICA: ESTRATÉGIAS PARA A REDUÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NOS PROCESSOS QUÍMICOS E CONTRIBUIÇÕES PARA A FORMAÇÃO E A EDUCAÇÃO CIENTÍFICA

Heloiza Vitória Correia Luciano   

Instituto Federal Goiano (IF Goiano) – Campus Ceres

Gabriel dos Santos Luz   

Instituto Federal Goiano (IF Goiano) – Campus Ceres

Marcela Carmen de Melo Burger   

Instituto Federal Goiano (IF Goiano) – Campus Ceres

Resumo

A crescente preocupação com os impactos ambientais decorrentes das atividades humanas tem impulsionado a busca por alternativas capazes de conciliar desenvolvimento científico, tecnológico e preservação ambiental. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar as contribuições da Química Verde e da sustentabilidade para o ensino de Química, destacando estratégias relacionadas à redução dos impactos ambientais nos processos químicos e suas contribuições para a formação e a educação científica. A pesquisa caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de abordagem qualitativa, realizada a partir da análise de artigos científicos, livros, trabalhos acadêmicos e documentos relacionados à temática. Os resultados evidenciaram que a Química Verde constitui uma importante possibilidade para a abordagem de questões ambientais no ensino de Química, favorecendo a compreensão de processos e produtos químicos mais seguros, eficientes e ambientalmente responsáveis. Verificou-se, ainda, que a inserção de seus princípios no contexto educacional pode contribuir para a contextualização do conhecimento químico, para a educação científica e para a formação de professores e estudantes mais conscientes diante das questões relacionadas à sustentabilidade. Além disso, a literatura aponta diferentes possibilidades de abordagem da temática, incluindo práticas pedagógicas contextualizadas, abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade, educação inclusiva e formação técnica. Conclui-se que a Química Verde apresenta contribuições relevantes para o ensino de Química, ao possibilitar a articulação entre conhecimento químico, sustentabilidade, redução dos impactos ambientais e formação científica, embora sua inserção educacional ainda apresente desafios relacionados à formação docente e à integração curricular.

Palavras-chave: Processos Químicos. Educação Ambiental. Tecnologias Sustentáveis. Ensino de Química.

Green Chemistry and Sustainability in Chemistry Teaching: strategies for reducing environmental impacts in chemical processes and contributions to training and scientific education

Abstract

The growing concern about the environmental impacts resulting from human activities has driven the search for alternatives capable of reconciling scientific and technological development with environmental preservation. In this context, the present study aimed to analyze the contributions of Green Chemistry and sustainability to Chemistry education, emphasizing strategies related to reducing the environmental impacts of chemical processes and their contributions to scientific education and teacher training. This research is characterized as a qualitative bibliographic review based on the analysis of scientific articles, books, academic papers, and documents related to the topic. The results showed that Green Chemistry represents an important possibility for addressing environmental issues in Chemistry education, promoting the understanding of safer, more efficient, and environmentally responsible chemical processes and products. It was also found that incorporating its principles into the educational context can contribute to the contextualization of chemical knowledge, scientific education, and the training of teachers and students who are more aware of issues related to sustainability. In addition, the literature indicates different possibilities for addressing the topic, including contextualized pedagogical practices, the Science-Technology-Society approach, inclusive education, and technical education. It is concluded that Green Chemistry makes relevant contributions to Chemistry education by enabling the articulation of chemical knowledge, sustainability, environmental impact reduction, and scientific education, although its integration into educational contexts still faces challenges related to teacher training and curricular integration.

Keywords: Chemical Processes. Environmental Education. Sustainable Technologies. Chemistry Teaching.

Química Verde y Sustentabilidad en la Enseñanza de la Química: estrategias para reducir los impactos ambientales en los procesos químicos y aporte a la formación y educación científica

Resumen

La creciente preocupación por los impactos ambientales derivados de las actividades humanas ha impulsado la búsqueda de alternativas capaces de conciliar el desarrollo científico y tecnológico con la preservación del medio ambiente. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar las contribuciones de la Química Verde y de la sostenibilidad a la enseñanza de la Química, destacando estrategias para la reducción de los impactos ambientales en los procesos químicos y sus aportes a la formación y a la educación científica. La investigación se caracteriza como una revisión bibliográfica de enfoque cualitativo, realizada a partir del análisis de artículos científicos, libros, trabajos académicos y documentos sobre la temática. Los resultados evidenciaron que la Química Verde constituye una importante posibilidad para abordar cuestiones ambientales en la enseñanza de la Química, favoreciendo la comprensión de

procesos y productos químicos más seguros, eficientes y ambientalmente responsables. Asimismo, la incorporación de sus principios al contexto educativo contribuye a la contextualización del conocimiento químico, a la educación científica y a la formación de docentes y estudiantes más conscientes frente a la sostenibilidad. Además, la literatura señala diferentes posibilidades para abordar la temática, como prácticas pedagógicas contextualizadas, el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad, la educación inclusiva y la formación técnica. Se concluye que la Química Verde presenta contribuciones relevantes para la enseñanza de la Química, al articular conocimiento químico, sostenibilidad, reducción de los impactos ambientales y formación científica, aunque su incorporación en los contextos educativos todavía enfrenta desafíos relacionados con la formación docente y la integración curricular.

Palabras clave: Procesos Químicos. Educación Ambiental. Tecnologías Sostenibles. Enseñanza de la Química.

Introdução

A intensificação das atividades industriais, agrícolas e tecnológicas ao longo das últimas décadas proporcionou importantes avanços para a sociedade, contribuindo para o desenvolvimento econômico, a ampliação da produção de bens e a melhoria das condições de vida da população. Segundo Sousa e Fernandes (2023), esse processo também resultou em um aumento significativo da exploração dos recursos naturais e da geração de resíduos, ampliando os impactos sobre o meio ambiente. Problemas como a contaminação dos recursos hídricos, a degradação dos solos, a poluição atmosférica e as mudanças climáticas têm despertado crescente preocupação em escala global, evidenciando a necessidade de buscar alternativas e estratégias capazes de conciliar desenvolvimento e conservação ambiental (Sousa; Fernandes, 2023).

Nesse sentido, Moreira, Aires e Lorenzetti (2017), destacam que as discussões sobre meio ambiente têm se tornado cada vez mais frequentes devido à estreita relação entre os avanços científico-tecnológicos e os problemas ambientais observados na atualidade.

As preocupações com os impactos ambientais provocados pelas atividades industriais passaram a ganhar maior destaque a partir das décadas de 1960 e 1970, período marcado pelo fortalecimento dos movimentos ambientalistas e pela realização de conferências internacionais voltadas à proteção do meio ambiente. Nesse contexto, intensificaram-se as discussões sobre a necessidade de desenvolver tecnologias capazes de reduzir a poluição e promover formas mais sustentáveis de produção.

Conforme destacam Leal e Marques (2008), foi nesse cenário que se consolidaram as bases da Química Verde, posteriormente estruturadas por Paul Anastas e John Warner na década de 1990, nos Estados Unidos, por meio da proposição de princípios voltados ao desenvolvimento de produtos e processos químicos mais seguros e menos impactantes ao meio ambiente. Segundo Moreira, Aires e Lorenzetti (2017), essa abordagem representou uma mudança de paradigma ao priorizar a prevenção da poluição em vez da adoção exclusiva de medidas corretivas, ampliando as possibilidades de integração entre desenvolvimento científico, inovação tecnológica e sustentabilidade.

Nesse cenário, a Química ocupa posição de destaque por estar presente em praticamente todos os setores produtivos e em diversas atividades cotidianas. Conforme argumenta Rodrigues (2016), a sociedade frequentemente associa a Química aos

impactos ambientais decorrentes dos processos químicos e industriais, como à geração de resíduos e à utilização de substâncias potencialmente perigosas, contribuindo para a construção de uma imagem e percepção negativa dessa ciência.

Entretanto, o mesmo autor ressalta que a Química também tem contribuído para o desenvolvimento de soluções voltadas à sustentabilidade, por meio da criação de tecnologias mais limpas, seguras e eficientes, capazes de minimizar impactos ambientais e melhorar a qualidade de vida da população. De forma semelhante, Sousa, Silva e Costa (2019) afirmam que o conhecimento químico possui papel fundamental na busca por alternativas que reduzam os danos ambientais e promovam formas mais sustentáveis de produção.

Dentre essas iniciativas, destaca-se a Química Verde, definida como uma abordagem voltada ao desenvolvimento de produtos e processos químicos que reduzem ou eliminem o uso e a geração de substâncias perigosas, considerando os impactos sobre o meio ambiente e a saúde humana (Anastas; Warner, 1998). Os autores sistematizaram essa abordagem por meio de doze princípios, que orientam a prevenção da geração de resíduos, a economia atômica, a redução da periculosidade das sínteses e dos produtos químicos, a utilização de matérias-primas renováveis, a eficiência energética, entre outras estratégias destinadas à redução dos impactos associados à produção química tradicional.

Moreira, Aires e Lorenzetti (2017) ressaltam que essa área do conhecimento surgiu como resposta à necessidade de minimizar os impactos ambientais associados à produção química tradicional. Além de incentivar a prevenção da poluição na fonte, essa abordagem contribui para a promoção de práticas produtivas mais responsáveis e para o desenvolvimento de tecnologias mais limpas (Sousa; Silva; Costa, 2019).

A relação entre Química Verde e sustentabilidade torna-se cada vez mais relevante diante dos desafios ambientais contemporâneos. De acordo com Sousa, Silva e Costa (2019), a incorporação dos princípios da Química Verde favorece a redução da geração de resíduos, o uso racional dos recursos naturais e diminuição dos riscos ambientais associados às atividades produtivas, industriais e agrícolas. Da mesma forma, Ferreira, Rocha e Silva (2014) destacam que a adoção de práticas fundamentadas na Química Verde pode contribuir para a construção de processos mais sustentáveis, articulando aspectos ambientais, econômicos e relacionados à qualidade de vida.

Além disso, essa abordagem está alinhada às discussões internacionais sobre desenvolvimento sustentável e aos esforços voltados para a mitigação dos impactos ambientais decorrentes das ações humanas (Sousa; Fernandes, 2023). Assim, a Química Verde tem sido reconhecida como uma importante ferramenta para a promoção da inovação, da sustentabilidade e para a construção de modelos produtivos mais responsáveis socioambientalmente.

Apesar dos avanços observados na área, ainda existem desafios relacionados à ampliação da aplicação dos princípios da Química Verde em diferentes contextos produtivos e educacionais. Moreira, Aires e Lorenzetti (2017) observam que muitas discussões permanecem concentradas em aspectos específicos da temática, dificultando uma compreensão mais abrangente de suas contribuições para a sustentabilidade. Além disso, Sousa, Silva e Costa (2019) ressaltam a necessidade de fortalecer a difusão desses princípios em diferentes setores da sociedade. Diante desse contexto, este trabalho busca responder à seguinte questão: de que maneira a Química Verde, articulada à sustentabilidade no ensino de Química, pode contribuir para a compreensão e adoção

de estratégias voltadas à redução dos impactos ambientais nos processos químicos, bem como para a formação e a educação científica?

A realização deste estudo justifica-se pela crescente necessidade de discutir alternativas que permitam conciliar desenvolvimento científico, inovação tecnológica e responsabilidade socioambiental. Conforme destacam Sousa e Fernandes (2023), os desafios ambientais contemporâneos exigem mudanças nos modelos de produção e consumo adotados pela sociedade. Nesse contexto, esta revisão bibliográfica busca reunir e analisar conhecimentos produzidos sobre a temática, contribuindo para uma compreensão mais ampla das contribuições da Química Verde para o desenvolvimento científico e tecnológico sustentável e ampliando as reflexões sobre a adoção de práticas químicas mais responsáveis nos diferentes setores da sociedade.

Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo geral analisar, por meio de revisão bibliográfica, as contribuições da Química Verde e da sustentabilidade para o ensino de Química, com ênfase nas estratégias voltadas à redução dos impactos ambientais nos processos químicos e em suas contribuições para a formação e a educação científica. Para alcançar esse objetivo, busca-se compreender os fundamentos e princípios da Química Verde e sua relação com a sustentabilidade no ensino de Química; identificar estratégias e possibilidades de abordagem desses princípios no contexto educacional, especialmente aquelas relacionadas à redução da geração de resíduos e da poluição nos processos químicos; discutir as contribuições da Química Verde para a contextualização do conhecimento químico e para a educação científica; analisar suas contribuições para a formação docente e para o desenvolvimento de práticas educativas voltadas à sustentabilidade; e identificar os principais desafios e possibilidades relacionados à inserção da Química Verde no ensino de Química.

Metodologia

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de abordagem qualitativa e natureza descritiva, desenvolvida com o objetivo de analisar como a Química Verde e a sustentabilidade têm sido abordadas no ensino de Química, com ênfase nas estratégias relacionadas à redução dos impactos ambientais nos processos químicos e em suas contribuições para a formação e a educação científica. A revisão bibliográfica possibilitou reunir, organizar e analisar produções científicas relacionadas aos fundamentos e princípios da Química Verde, às possibilidades de inserção desses conhecimentos no ensino de Química e às suas contribuições para a contextualização do conhecimento químico, a formação docente e a educação para a sustentabilidade.

Para a composição do material bibliográfico selecionado, foram priorizadas publicações que apresentassem relação direta com o ensino de Química, a formação docente, a educação científica, a educação para a sustentabilidade e a inserção da Química Verde em contextos educacionais. Também foram consideradas produções que abordassem práticas pedagógicas, abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), educação inclusiva e formação técnica relacionada à sustentabilidade. As obras de caráter conceitual e aquelas voltadas às aplicações da Química Verde em processos e setores produtivos foram utilizadas como suporte à fundamentação teórica, quando pertinentes à compreensão dos conceitos e princípios discutidos, não constituindo o núcleo da análise educacional.

O levantamento bibliográfico foi realizado nas bases Google Acadêmico, Scientific Electronic Library Online (SciELO) e Portal de Periódicos CAPES, selecionadas por sua abrangência na disponibilização de produções científicas relacionadas às áreas de Química, Educação, Ciências Ambientais e sustentabilidade. Foram utilizados como termos de busca: “Química Verde”, “Sustentabilidade”, “Meio Ambiente”, “Processos Químicos”, “Desenvolvimento Sustentável”, “Impactos Ambientais” “Tecnologias Sustentáveis”, “Tecnologias Limpas”, “Educação Ambiental” e “Ensino de Química”.

As buscas foram estruturadas mediante combinações dos descritores por meio do operador booleano AND, utilizando expressões relacionadas ao objetivo da pesquisa. No Google Acadêmico, foram utilizadas as combinações “Química Verde” AND sustentabilidade, “Química Verde” AND “desenvolvimento sustentável”, “Química Verde” AND “processos químicos” e “Química Verde” AND “ensino de Química”. Na SciELO, foram empregadas as expressões “Química Verde” AND sustentabilidade, “Química Verde” AND “desenvolvimento sustentável” e “Química Verde” AND “educação ambiental”. No Portal de Periódicos CAPES, foram utilizadas as combinações “Química Verde” AND sustentabilidade AND “processos químicos”, “Química Verde” AND “desenvolvimento sustentável” e “Química Verde” AND “tecnologias sustentáveis”.

O levantamento priorizou publicações disponibilizadas entre 2016 e 2026, considerando a necessidade de contemplar produções recentes sobre a temática. As consultas às fontes bibliográficas foram realizadas no período de 01 de junho de 2026 a 10 de junho de 2026. Embora tenha sido adotado esse recorte temporal, foram incluídas obras publicadas anteriormente a 2016 quando consideradas fundamentais para a compreensão dos fundamentos históricos e conceituais da Química Verde. Nesse grupo encontram-se, especialmente, Anastas e Warner (1998), referência fundamental para a formulação dos doze princípios da Química Verde, além de Leal e Marques (2008), Ferreira, Rocha e Silva (2014), Mangrich et al. (2014) e Tsukui e Rezende (2014).

Foram considerados elegíveis artigos científicos, livros, trabalhos acadêmicos e trabalhos publicados em eventos que apresentassem relação direta com os objetivos da pesquisa. Foram incluídas publicações que abordassem os fundamentos e princípios da Química Verde, sua relação com a sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável, suas aplicações em diferentes setores, seus benefícios ambientais, econômicos e sociais, bem como sua inserção no ensino de Química e na educação ambiental.

Foram excluídas publicações que não apresentassem relação direta com a temática investigada, estudos duplicados recuperados em diferentes fontes, materiais sem acesso ao texto completo e trabalhos cujo conteúdo não contribuísse para responder aos objetivos estabelecidos. Também foram desconsideradas publicações centradas exclusivamente em temas específicos que não apresentassem relação suficientemente direta com os princípios, aplicações ou contribuições da Química Verde.

O processo de seleção foi organizado em etapas sucessivas, contemplando identificação dos registros, exclusão de duplicidades, triagem por título e resumo, avaliação do texto completo e definição do material final. Após a identificação das publicações potencialmente relevantes, os títulos e resumos foram examinados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão. Os estudos considerados pertinentes foram posteriormente avaliados na íntegra, sendo selecionados para análise aqueles que apresentavam conteúdo diretamente relacionado aos objetivos da revisão.

Para a seleção das publicações que compuseram o corpus da revisão, foram inicialmente identificados 86 registros nas três bases de dados consultadas. Após a identificação e exclusão de 12 registros duplicados, permaneceram 74 publicações para a etapa de triagem por título e resumo. Nessa etapa, 43 registros foram excluídos por não apresentarem relação direta com os objetivos da pesquisa ou por não atenderem aos critérios de inclusão estabelecidos. Assim, 31 textos foram selecionados para leitura na íntegra. Após essa etapa, 13 textos foram excluídos por não apresentarem conteúdo suficientemente relacionado ao objeto de estudo ou por não contribuírem diretamente para os objetivos da revisão. Ao final, 18 publicações compuseram o corpus da pesquisa.

Considerando o foco definido para esta pesquisa, a análise do material também levou em consideração a aderência das publicações ao campo educacional. Nesse sentido, parte significativa dos estudos selecionados apresenta relação direta com o ensino de Química e com a formação de professores, como Almeida et al. (2019), Gomes et al. (2022), Marcelino e Marques (2023), Moreira, Aires e Lorenzetti (2017), Ayres e Amaral (2016), Andrade e Zeidler (2025) e Ferraz et al. (2025). Esses trabalhos constituíram referências centrais para a análise das contribuições da Química Verde para a educação química.

Também foram consideradas publicações relacionadas à formação técnica e à educação ambiental, como Zitei-Baptista, Ribeiro e Tapia-Blácido (2026), bem como estudos que contribuem para a compreensão das relações entre Química Verde, sustentabilidade, inovação e aplicações químicas. Dessa forma, a composição do estudo buscou contemplar tanto a dimensão educacional diretamente relacionada ao objeto da pesquisa quanto os fundamentos conceituais e aplicados necessários para contextualizar os conhecimentos químicos discutidos no processo formativo.

Para a organização e sistematização das informações, foram considerados os seguintes elementos: autoria, ano de publicação, periódico ou fonte, tipo de publicação e foco temático. Essa caracterização permitiu identificar as principais abordagens presentes no conjunto de estudos analisados e organizar a discussão dos resultados segundo os objetivos da pesquisa.

Quadro 1: Caracterização das publicações analisadas.

Autoria	Ano	Periódico/Fonte	Tipo de publicação	Foco temático
Almeida et al.	2019	Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas	Artigo científico	Química Verde na formação em Licenciatura em Química
Anastas; Warner	1998	Oxford University Press	Livro	Fundamentos e princípios da Química Verde
Andrade; Zeidler	2025	Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	Artigo científico	Química Verde, sustentabilidade e educação química

Ayres; Amaral	2016	REnCiMa	Artigo científico	Sustentabilidade ambiental no ensino de Química
Benedicto; Benedicto; Silva	2019	Fórum Ambiental da Alta Paulista	Artigo científico	Química Verde, ecoeficiência e sustentabilidade
Ferraz et al.	2025	Cuadernos de Educación y Desarrollo	Artigo científico	Educação inclusiva e Química Verde
Ferreira; Rocha; Silva	2014	Revista Virtual de Química	Artigo científico	Química Verde, economia sustentável e qualidade de vida
Gomes et al.	2022	Ambiente & Educação	Artigo científico	Química Verde na formação de professores
Leal; Marques	2008	Química Nova na Escola	Artigo científico	Conhecimento químico e questão ambiental
Mangrich et al.	2014	Revista Virtual de Química	Artigo científico	Química Verde aplicada ao tratamento de águas
Marcelino; Marques	2023	Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas	Artigo científico	Pesquisa em Ensino de Química Verde
Moreira; Aires; Lorenzetti	2017	ACTIO: Docência em Ciências	Artigo científico	Química Verde e abordagem CTS
Rodrigues	2016	Anais do Congresso	Trabalho em evento	Percepção social da Química e questões ambientais
Silva	2025	Instituto Federal da Paraíba	TCC	Química Verde e educação inclusiva
Sousa; Silva; Costa	2019	Brazilian Journal of Development	Artigo científico	Química Verde e desenvolvimento sustentável
Sousa; Fernandes	2023	Edição do autor	Livro	Química Ambiental

Tsukui; Rezende	2014	Revista Virtual de Química	Artigo científico	Química Verde e extração assistida por micro-ondas
Zitei-Baptista; Ribeiro; Tapia-Blácido	2026	Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro	Artigo científico	Química Verde, economia circular e sustentabilidade

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A análise do material selecionado foi realizada de forma qualitativa e interpretativa, mediante leitura e sistematização dos conteúdos relacionados aos objetivos da pesquisa. As informações extraídas das publicações foram organizadas em categorias temáticas, permitindo identificar aproximações, diferenças e contribuições dos estudos para a compreensão da Química Verde e de sua relação com a sustentabilidade.

Considerando a aderência ao escopo educacional definido para a pesquisa, a interpretação dos estudos priorizou a identificação de contribuições que pudessem ser relacionadas ao ensino de Química. Foram observadas, especialmente, as possibilidades de contextualização dos conteúdos químicos, desenvolvimento de práticas pedagógicas, articulação entre ciência, tecnologia e sociedade, formação para a sustentabilidade, inclusão educacional, formação docente e formação técnica. Nos estudos predominantemente voltados às aplicações da Química Verde, foram consideradas as possibilidades de utilização de seus conceitos e exemplos como recursos de contextualização e problematização no processo de ensino e aprendizagem.

Foram estabelecidas seis categorias de análise: (1) origem, conceitos e fundamentos da Química Verde; (2) princípios da Química Verde; (3) relação entre Química Verde e desenvolvimento sustentável; (4) aplicações da Química Verde em diferentes setores; (5) contribuições da Química Verde para a educação e para o ensino de Química; e (6) benefícios, desafios e perspectivas de implementação de práticas fundamentadas na Química Verde.

Para aprofundar a análise da dimensão educacional, foram ainda observados aspectos complementares presentes nas publicações, especialmente: (a) possibilidades de aplicação dos conhecimentos de Química Verde em situações de sala de aula; (b) contribuições para a formação inicial e continuada de professores; (c) articulação entre conhecimentos químicos e problemas ambientais, sociais e tecnológicos; (d) possibilidades de desenvolvimento de práticas pedagógicas contextualizadas e inclusivas; e (e) contribuições para a formação técnica voltada à sustentabilidade. Esses aspectos foram considerados de forma transversal às categorias anteriormente estabelecidas, permitindo ampliar a interpretação dos resultados sem desconsiderar as dimensões conceituais e aplicadas da Química Verde.

A organização dos estudos nessas categorias possibilitou estabelecer relações entre os diferentes aspectos identificados na literatura e direcionar a apresentação dos resultados. Dessa forma, a análise buscou não apenas descrever as publicações selecionadas, mas sintetizar suas principais contribuições para responder ao problema e aos objetivos estabelecidos nesta pesquisa.

A partir desse procedimento, os resultados foram organizados de acordo com as categorias de análise estabelecidas, permitindo discutir as contribuições da Química Verde para a sustentabilidade, suas aplicações, sua relevância econômica, ambiental e social e sua inserção nos processos educativos.

Fundamentação teórica

Química Verde: origem, conceitos e fundamentos

As discussões relacionadas à preservação ambiental, à utilização dos recursos naturais e à necessidade de transformação dos modelos de produção ganharam maior relevância ao longo das últimas décadas em razão do agravamento de diferentes problemas ambientais associados às atividades humanas. O crescimento das atividades industriais, a intensificação da exploração de matérias-primas, a expansão dos padrões de consumo e a geração crescente de resíduos evidenciaram limitações de modelos produtivos fundamentados predominantemente na utilização intensiva de recursos naturais e no tratamento dos impactos somente após sua ocorrência (Leal; Marques, 2008). Nesse contexto, a discussão ambiental passou a incorporar, de maneira progressiva, a necessidade de prevenção dos impactos e de transformação das próprias formas de produção (Ferreira; Rocha; Silva, 2014).

Leal e Marques (2008) destacam que a questão ambiental está relacionada à maneira como a sociedade utiliza os recursos naturais e concebe sua relação com o ambiente. Os autores discutem a necessidade de superar a concepção de que os sistemas naturais seriam capazes de absorver indefinidamente os resíduos e impactos decorrentes das atividades humanas. Essa mudança de perspectiva contribuiu para o fortalecimento de propostas que priorizam a prevenção da poluição e a incorporação de critérios ambientais desde a concepção dos processos produtivos.

A associação entre Química e problemas ambientais contribuiu, historicamente, para a construção de uma percepção social predominantemente negativa dessa ciência. Rodrigues (2016), entretanto, problematiza essa representação ao discutir os mal-entendidos, preconceitos e mitos associados à Química na sociedade contemporânea. A compreensão da ciência química não pode, portanto, restringir-se aos impactos provocados por determinadas práticas ou substâncias, uma vez que o conhecimento químico também participa do desenvolvimento de soluções relacionadas à saúde, ao saneamento, aos materiais, à energia e a diferentes demandas sociais. A questão ambiental, nesse sentido, relaciona-se não apenas à existência dos processos químicos, mas às escolhas realizadas em sua concepção, aos materiais empregados, à quantidade de resíduos gerados, à toxicidade das substâncias utilizadas e aos riscos associados aos produtos e processos desenvolvidos (Rodrigues, 2016).

É nesse contexto que se consolida a proposta da Química Verde. A abordagem surgiu vinculada à necessidade de modificar a maneira como os processos químicos são planejados, deslocando a atenção de estratégias predominantemente corretivas para estratégias de prevenção. Em vez de desenvolver inicialmente um processo que gere resíduos ou substâncias perigosas e posteriormente buscar formas de tratamento e disposição desses materiais, a Química Verde propõe que os impactos sejam

considerados desde as etapas iniciais de planejamento e desenvolvimento (Leal; Marques, 2008).

Anastas e Warner (1998) sistematizaram a Química Verde a partir de doze princípios destinados a orientar o desenvolvimento de produtos e processos químicos que reduzam ou eliminem o uso e a geração de substâncias perigosas. Essa definição estabelece uma diferença fundamental entre a Química Verde e abordagens ambientais baseadas exclusivamente no controle da poluição. Enquanto o controle convencional pode atuar sobre o problema depois que o resíduo ou contaminante já foi produzido, a Química Verde procura evitar sua formação na origem.

A prevenção constitui, portanto, um dos elementos estruturantes dessa abordagem. A preocupação ambiental deixa de ser considerada apenas uma etapa posterior ao processo produtivo e passa a integrar o próprio planejamento das reações, dos materiais, dos solventes, das condições operacionais e dos produtos. Dessa forma, aspectos relacionados à toxicidade, ao consumo de energia, à utilização de matérias-primas, à geração de resíduos e à segurança passam a ser considerados conjuntamente (Anastas; Warner, 1998).

A Química Verde também está relacionada à eficiência dos processos químicos. A redução de desperdícios, a utilização mais adequada das matérias-primas, a diminuição do consumo energético e a redução da geração de resíduos podem produzir simultaneamente benefícios ambientais e econômicos. Ferreira, Rocha e Silva (2014) discutem a relação entre Química Verde, economia sustentável e qualidade de vida, ressaltando a importância de processos capazes de articular eficiência produtiva, redução de impactos e utilização racional dos recursos.

Essa perspectiva amplia a compreensão da sustentabilidade no âmbito da Química. Não se trata somente de reduzir a quantidade de resíduos produzidos, mas de repensar os processos de maneira sistêmica, considerando desde a escolha das matérias-primas até as características dos produtos obtidos e seu destino após a utilização. A sustentabilidade passa, assim, a ser incorporada como critério de planejamento tecnológico e científico (Ferreira; Rocha; Silva, 2014).

Outro aspecto importante é a relação entre Química Verde e inovação. A busca por processos mais seguros e eficientes pode estimular o desenvolvimento de novos materiais, métodos de síntese, catalisadores, solventes, fontes de matérias-primas e tecnologias de processamento. Benedicto, Benedicto e Silva (2019), ao discutirem a relação entre inovação, sustentabilidade, química verde, ecotecnologia e ecoeficiência, evidenciam a aproximação entre estratégias ambientais e processos de inovação organizacional e tecnológica.

A abordagem também apresenta caráter interdisciplinar. Seus fundamentos podem dialogar com conhecimentos provenientes da Química, Engenharia, Biotecnologia, Ciências Ambientais, Educação, Saúde, Economia e outras áreas. Essa característica decorre do próprio caráter complexo dos problemas ambientais, que não podem ser solucionados exclusivamente a partir de uma única área do conhecimento (Ferreira; Rocha; Silva, 2014).

No campo educacional, a expansão das discussões sobre Química Verde demonstra que seus fundamentos também ultrapassam o espaço dos laboratórios e das atividades industriais. Marcelino e Marques (2023), ao analisarem a pesquisa em Ensino de Química Verde, evidenciam a consolidação desse campo de investigação e sua relação com diferentes temas e tipos de estudos. A inserção da temática na formação científica

permite aproximar o conhecimento químico das questões ambientais e sociais contemporâneas.

Assim, a Química Verde pode ser compreendida como uma abordagem preventiva e multidimensional, orientada pela necessidade de desenvolver produtos e processos químicos mais seguros, eficientes e ambientalmente responsáveis. Sua importância decorre justamente da possibilidade de integrar conhecimentos químicos a preocupações relacionadas à saúde humana, à preservação ambiental, à eficiência dos recursos e à sustentabilidade dos sistemas produtivos (Anastas; Warner, 1998).

Os princípios da Química Verde

A consolidação da estrutura conceitual da Química Verde está diretamente associada e relacionada à proposição dos doze princípios elaborados e sistematizados por Paul Anastas e John Warner (1998), referências fundamentais para o planejamento, desenvolvimento e avaliação de produtos e processos químicos, estabelecendo diferentes dimensões que devem ser consideradas na busca por alternativas mais seguras e sustentáveis. Conforme destacam Leal e Marques (2008), esses princípios representam uma mudança na forma de compreender a produção química, ao priorizarem a prevenção da poluição em detrimento das medidas corretivas.

De acordo com Moreira, Aires e Lorenzetti (2017), a proposta da Química Verde busca repensar o ciclo produtivo considerando aspectos relacionados à eficiência, segurança e sustentabilidade. Os princípios constituem, portanto, diretrizes para o planejamento, a execução e a avaliação de processos químicos, buscando minimizar riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

Segundo Sousa, Silva e Costa (2019), sua aplicação está relacionada à redução da geração de resíduos e ao uso mais eficiente de matérias-primas e energia. Ferreira, Rocha e Silva (2014) acrescentam que essa abordagem está relacionada à construção de processos produtivos mais sustentáveis, articulando aspectos ambientais, econômicos e tecnológicos.

Os doze princípios e seus respectivos objetivos são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Os doze princípios da Química Verde e seus objetivos.

Princípio	Objetivo
1. Prevenção	Evitar a geração de resíduos em vez de tratá-los posteriormente.
2. Economia de átomos	Maximizar o aproveitamento dos materiais utilizados nos processos químicos.
3. Sínteses químicas menos perigosas	Desenvolver métodos que utilizem e produzam substâncias menos tóxicas.
4. Desenvolvimento de produtos mais seguros	Projetar produtos químicos eficazes com menor toxicidade.

5. Solventes e substâncias auxiliares mais seguras	Reduzir ou eliminar o uso de substâncias auxiliares perigosas.
6. Eficiência energética	Minimizar o consumo de energia durante os processos químicos.
7. Uso de matérias-primas renováveis	Priorizar recursos renováveis sempre que tecnicamente possível.
8. Redução da formação de derivados	Evitar etapas adicionais que aumentem o consumo de reagentes e a geração de resíduos.
9. Catálise	Utilizar catalisadores para aumentar a eficiência das reações químicas.
10. Degradação planejada	Desenvolver produtos que se decomponham em substâncias inofensivas após o uso.
11. Monitoramento em tempo real	Acompanhar os processos para prevenir a formação de substâncias perigosas.
12. Química intrinsecamente segura	Reduzir riscos de acidentes, explosões e vazamentos.

Fonte: Adaptado de Anastas e Warner (1998).

A análise conjunta desses princípios demonstra que a Química Verde não corresponde a uma única técnica ou tecnologia. Trata-se de um conjunto articulado de critérios para orientar decisões científicas e tecnológicas. Um processo pode apresentar determinada vantagem ambiental e, simultaneamente, possuir limitações em outra dimensão. Por essa razão, a avaliação da sustentabilidade de uma alternativa química exige uma perspectiva integrada (Anastas; Warner, 1998).

Os princípios também evidenciam que a prevenção constitui uma característica transversal da abordagem. A redução da geração de resíduos, a escolha de matérias-primas, o desenvolvimento de produtos menos perigosos, a eficiência energética e o monitoramento dos processos estão relacionados à tentativa de evitar ou minimizar impactos antes que eles sejam produzidos (Anastas; Warner, 1998).

Ferreira, Rocha e Silva (2014) ressaltam que essa perspectiva pode contribuir para a construção de processos mais eficientes, enquanto Benedicto, Benedicto e Silva (2019) relacionam a sustentabilidade e a ecoeficiência à inovação e ao desempenho organizacional. Dessa forma, os princípios não devem ser compreendidos exclusivamente como recomendações ambientais, mas também como orientações para a melhoria da eficiência dos sistemas químicos.

Química Verde e desenvolvimento sustentável

A relação entre Química Verde e desenvolvimento sustentável decorre da necessidade de conciliar produção, inovação, utilização dos recursos naturais e proteção

ambiental (Ferreira; Rocha; Silva, 2014). O desenvolvimento de sociedades contemporâneas depende de diferentes processos químicos, mas a continuidade de modelos produtivos baseados em elevado consumo de matérias-primas e energia e na geração de resíduos apresenta limitações ambientais e econômicas (Benedicto; Benedicto; Silva, 2019).

Nesse contexto, a Química Verde oferece uma perspectiva voltada à transformação dos próprios processos produtivos. Ferreira, Rocha e Silva (2014) relacionam a Química Verde à economia sustentável e à qualidade de vida, evidenciando que a busca por processos químicos mais eficientes pode produzir efeitos que ultrapassam a dimensão estritamente ambiental.

A sustentabilidade, nesse sentido, não pode ser reduzida à simples diminuição da quantidade de resíduos. É necessário considerar a origem das matérias-primas, a quantidade de energia utilizada, a toxicidade das substâncias empregadas, a eficiência das reações, a durabilidade dos produtos e seu comportamento após o uso. Os doze princípios de Anastas e Warner (1998) oferecem justamente uma estrutura para incorporar essas dimensões ao planejamento químico.

A discussão contemporânea também aproxima a Química Verde da economia circular. Enquanto a economia circular procura reduzir perdas, prolongar a utilização de materiais e valorizar recursos ao longo de seus ciclos, a Química Verde contribui para repensar a própria maneira como substâncias e materiais são produzidos. Zitei-Baptista, Ribeiro e Tapia-Blácido (2026) abordam a aproximação entre Química Verde, economia circular e educação ambiental, reforçando a importância de estratégias integradas para a sustentabilidade.

A sustentabilidade também possui uma dimensão social e educacional. A formação de profissionais capazes de reconhecer os impactos associados às escolhas químicas é fundamental para a transformação dos sistemas produtivos. Nesse sentido, a educação em Química Verde pode contribuir para que os conhecimentos científicos sejam relacionados aos problemas ambientais e sociais concretos (Almeida et al., 2019; Gomes et al., 2022; Marcelino; Marques, 2023).

Andrade e Zeidler (2025) discutem a relação entre Química Verde, sustentabilidade e educação química, ressaltando a importância de uma abordagem formativa que ultrapasse a apresentação isolada de conceitos ambientais. Marcelino e Marques (2023), por sua vez, demonstram a expansão das pesquisas sobre Ensino de Química Verde, evidenciando a consolidação da temática como objeto de investigação.

Aplicações da Química Verde em diferentes setores

Os princípios da Química Verde podem ser empregados como referência para o desenvolvimento e a avaliação de diferentes processos e tecnologias (Anastas; Warner, 1998). Sua natureza abrangente permite que sejam considerados em pesquisas relacionadas a sínteses químicas, extração de substâncias, tratamento de águas, desenvolvimento de materiais, processos industriais e formação profissional (Ferreira; Rocha; Silva, 2014).

No âmbito dos processos de extração, Tsukui e Rezende (2014) discutem a extração assistida por micro-ondas sob a perspectiva da Química Verde. A utilização de tecnologias alternativas em processos de extração demonstra a possibilidade de repensar

condições experimentais tradicionalmente empregadas, considerando aspectos como eficiência e consumo de recursos.

O tratamento de águas constitui outro campo relevante. Mangrich et al. (2014) analisam o uso de coagulante derivado de tanino de *Acacia mearnsii* no tratamento de águas, inserindo a discussão no contexto da Química Verde. O estudo evidencia a possibilidade de investigar materiais de origem natural como alternativas em processos de tratamento, relacionando a escolha dos insumos utilizados às preocupações ambientais.

No campo da produção e das organizações, a relação entre Química Verde, ecotecnologia e ecoeficiência também amplia a discussão sobre sustentabilidade. Benedicto, Benedicto e Silva (2019) abordam essas relações no contexto da cadeia produtiva de couro, calçados e artefatos, evidenciando a aproximação entre inovação e estratégias de sustentabilidade organizacional.

Entretanto, a análise das aplicações da Química Verde exige cuidado para que o conceito não seja utilizado de maneira excessivamente ampla. Nem toda tecnologia considerada “limpa”, “sustentável” ou “ambientalmente favorável” necessariamente atende aos doze princípios em sua totalidade. A classificação de um processo como alinhado à Química Verde requer a análise das características específicas do processo e dos critérios estabelecidos pela abordagem (Anastas; Warner, 1998).

Essa consideração é importante porque a sustentabilidade de uma tecnologia depende de diferentes fatores. A substituição de uma substância por outra, por exemplo, não necessariamente representa uma melhoria ambiental se a alternativa apresentar maior toxicidade, maior persistência ou maior consumo energético. Da mesma forma, uma matéria-prima renovável não é automaticamente sustentável se sua produção estiver associada a impactos ambientais significativos (Anastas; Warner, 1998).

Assim, os princípios da Química Verde funcionam como critérios para uma avaliação mais abrangente. Eles permitem considerar simultaneamente aspectos relacionados à geração de resíduos, eficiência material, toxicidade, segurança, energia, matérias-primas, catálise, degradação e prevenção de acidentes (Anastas; Warner, 1998).

Além das aplicações diretamente relacionadas aos processos químicos, a temática também está presente na formação de profissionais. Almeida et al. (2019) investigaram a presença da Química Verde nos cursos de Licenciatura em Química do Brasil, relacionando a temática à formação e à prática docente. Gomes et al. (2022), por sua vez, analisaram a inclusão de conceitos de Química Verde nas licenciaturas em Química dos Institutos Federais. Esses estudos situam a discussão das aplicações da Química Verde também no campo da formação profissional, especialmente na preparação de futuros professores de Química.

Química Verde e educação para a sustentabilidade

A educação constitui uma dimensão importante para a consolidação de práticas relacionadas à sustentabilidade, uma vez que a transformação dos processos produtivos depende também da formação de profissionais capazes de compreender as consequências ambientais, sociais e econômicas das decisões científicas e tecnológicas (Andrade; Zeidler, 2025).

No ensino de Química, essa discussão adquire especial relevância porque os conteúdos trabalhados em sala de aula estão diretamente relacionados às substâncias, reações, materiais, energia e processos presentes no cotidiano. A incorporação da Química Verde pode ampliar essas discussões, permitindo que conceitos químicos sejam relacionados às consequências de sua utilização e às possibilidades de desenvolvimento de alternativas mais seguras e sustentáveis (Almeida et al., 2019).

Marcelino e Marques (2023) analisaram a produção científica relacionada ao Ensino de Química Verde, demonstrando a existência de diferentes temas e tipologias de estudos nesse campo. A expansão dessas pesquisas evidencia que a Química Verde vem sendo discutida não somente como conteúdo científico, mas também como perspectiva para a formação química.

A abordagem educacional da Química Verde também pode favorecer a articulação entre ciência, tecnologia e sociedade. Moreira, Aires e Lorenzetti (2017) discutem possíveis contribuições da abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) para o ensino de Química a partir do conceito de Química Verde. Essa aproximação permite problematizar os efeitos sociais e ambientais relacionados à produção e utilização de conhecimentos químicos.

A perspectiva CTS é particularmente relevante porque evita uma compreensão descontextualizada da ciência. Ao abordar processos químicos associados a problemas ambientais concretos, o ensino pode favorecer a compreensão das relações existentes entre produção científica, desenvolvimento tecnológico, interesses sociais e impactos ambientais (Moreira; Aires; Lorenzetti, 2017).

Ayres e Amaral (2016) discutem a questão da sustentabilidade ambiental no ensino de Química, contribuindo para a reflexão sobre a inserção das questões ambientais no processo educativo. A sustentabilidade, nesse contexto, pode ser trabalhada de maneira articulada aos conhecimentos específicos da Química, evitando que o tema ambiental seja tratado apenas como conteúdo complementar.

A formação de professores também representa um campo estratégico. Almeida et al. (2019) investigaram a presença da Química Verde nos cursos de Licenciatura em Química do Brasil e discutiram sua importância para a prática docente. A formação inicial dos professores constitui, portanto, espaço relevante para a construção de conhecimentos que permitam posteriormente desenvolver práticas pedagógicas relacionadas à sustentabilidade.

Gomes et al. (2022) também investigaram a presença de conceitos de Química Verde nas licenciaturas em Química dos Institutos Federais. A discussão sobre a inserção da temática na formação docente evidencia a importância de considerar não somente a produção de conhecimento científico, mas também as condições de sua disseminação e apropriação no processo formativo.

A dimensão inclusiva também pode integrar essa discussão. Ferraz et al. (2025) abordam a educação inclusiva em Química Verde para estudantes surdos e ouvintes, demonstrando a possibilidade de desenvolver estratégias de ensino que relacionem sustentabilidade, conhecimentos químicos e inclusão educacional. Nesse sentido, a educação para a sustentabilidade não deve ser compreendida apenas como transmissão de informações ambientais, mas como processo formativo que considere diferentes sujeitos e contextos.

Andrade e Zeidler (2025) ampliam essa perspectiva ao discutirem a Química Verde e sustentável e sua inserção na educação química. A formação em Química pode,

dessa maneira, contribuir para a compreensão dos princípios que orientam processos mais sustentáveis e para o desenvolvimento de uma postura crítica diante das escolhas relacionadas à produção e utilização de substâncias químicas.

A educação para a sustentabilidade, portanto, envolve mais do que a apresentação dos doze princípios da Química Verde. Ela pressupõe a capacidade de relacionar esses princípios a situações concretas, analisar alternativas, reconhecer limitações e compreender as consequências das decisões científicas e tecnológicas (Marcelino; Marques, 2023).

Nesse sentido, a inserção da Química Verde no ensino pode contribuir para uma formação que articule conhecimento químico, responsabilidade ambiental, pensamento crítico e cidadania. A aproximação entre conteúdos científicos e problemas ambientais contemporâneos favorece uma compreensão mais contextualizada da Química e de sua função social (Moreira; Aires; Lorenzetti, 2017).

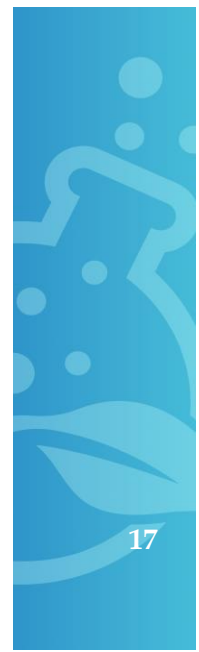
Resultados e discussão

A análise da bibliografia evidenciou que a inserção da Química Verde no ensino de Química tem sido abordada principalmente em relação à formação docente, à contextualização dos conhecimentos químicos, à educação para a sustentabilidade e à aproximação entre ciência, tecnologia, sociedade e questões ambientais. Almeida et al. (2019), ao investigarem os cursos de Licenciatura em Química no Brasil, destacam a importância da presença da Química Verde na formação dos futuros professores e sua relação com a prática docente. De maneira semelhante, Gomes et al. (2022) identificaram que a inserção desses conceitos nas licenciaturas em Química dos Institutos Federais ainda ocorre de forma limitada, indicando a necessidade de ampliar sua presença na formação inicial.

No campo das abordagens pedagógicas, Moreira, Aires e Lorenzetti (2017) discutem a aproximação entre Química Verde e a perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS), indicando que essa articulação pode favorecer a contextualização dos conhecimentos químicos e a discussão das implicações sociais e ambientais relacionadas à ciência e à tecnologia. Essa possibilidade também se relaciona às reflexões apresentadas por Ayres e Amaral (2016), que destacam a importância da inserção das questões de sustentabilidade no ensino de Química de maneira articulada aos conhecimentos específicos da área.

A produção científica analisada também demonstra que o Ensino de Química Verde vem se constituindo como um campo de investigação com diferentes temas e perspectivas. Marcelino e Marques (2023) identificaram uma diversidade de abordagens na pesquisa sobre Ensino de Química Verde, incluindo discussões relacionadas à educação para a sustentabilidade, à inserção da temática no ensino e às formas de contextualização dos conhecimentos químicos. Esse resultado reforça a possibilidade de utilizar a Química Verde não apenas como conteúdo conceitual, mas também como referência para a discussão de problemas ambientais, científicos e tecnológicos em situações educativas.

Outra contribuição identificada na base de estudos analisados refere-se à educação inclusiva. Ferraz et al. (2025) abordam o ensino de Química Verde para estudantes surdos e ouvintes por meio de situações-problema, demonstrando a



possibilidade de articular sustentabilidade, contextualização e inclusão educacional. Silva (2025) também aborda a Química Verde e sustentável no Ensino Médio integrado em uma perspectiva inclusiva, ampliando a discussão sobre a necessidade de considerar diferentes sujeitos e condições de aprendizagem na elaboração das práticas pedagógicas.

No que se refere às implicações para a sala de aula, os estudos analisados indicam possibilidades de trabalhar a Química Verde por meio da contextualização de conteúdos e da problematização de situações relacionadas aos impactos ambientais. A abordagem CTS discutida por Moreira, Aires e Lorenzetti (2017), por exemplo, permite relacionar conhecimentos químicos a questões científicas, tecnológicas e sociais. Já as situações-problema utilizadas por Ferraz et al. (2025) evidenciam uma possibilidade de organização das atividades pedagógicas a partir de situações concretas, favorecendo a participação dos estudantes e a articulação entre conceitos químicos e sustentabilidade.

A formação de professores constitui outro aspecto recorrente na literatura. Almeida et al. (2019) destacam a importância da Química Verde na formação dos licenciandos em Química, enquanto Gomes et al. (2022) apontam que sua inserção nas licenciaturas dos Institutos Federais ainda é incipiente. Esses resultados indicam que a ampliação da presença da temática na formação inicial pode contribuir para que futuros docentes tenham maior contato com seus fundamentos e reconheçam possibilidades de incorporá-los às práticas de ensino.

Além da formação docente, a literatura selecionada também apresenta contribuições relacionadas à formação técnica. Zitei-Baptista, Ribeiro e Tapia-Blácido (2026) discutem uma experiência de formação técnica articulando Química Verde, economia circular e educação ambiental, evidenciando a possibilidade de relacionar conhecimentos químicos e técnicos às questões de sustentabilidade. Essa perspectiva amplia o alcance educacional da Química Verde, aproximando seus princípios de situações relacionadas à formação profissional e ao mundo do trabalho.

Os estudos de caráter conceitual e aplicado presentes no conjunto de referências também oferecem subsídios para a contextualização do ensino. Mangrich et al. (2014), ao abordarem a utilização de coagulante derivado de tanino no tratamento de águas, e Tsukui e Rezende (2014), ao discutirem a extração assistida por micro-ondas, apresentam exemplos de aplicações que podem servir como contextos para a discussão dos princípios da Química Verde. Nessa perspectiva, essas produções não constituem o núcleo educacional do estudo, mas contribuem com situações concretas que podem ser mobilizadas no ensino para relacionar conceitos químicos à prevenção de impactos ambientais.

De modo geral, os trabalhos analisados convergem quanto ao potencial da Química Verde para aproximar o conhecimento químico das questões relacionadas à sustentabilidade, embora também indiquem desafios para sua inserção educacional. A presença ainda limitada da temática em cursos de formação de professores, identificada por Gomes et al. (2022), e a diversidade de abordagens encontradas por Marcelino e Marques (2023) evidenciam a necessidade de fortalecer sua integração aos processos formativos. Nesse sentido, os resultados apontam que a contribuição educacional da Química Verde está relacionada principalmente à contextualização dos conhecimentos químicos, à formação docente, à educação científica, à inclusão e à formação para a sustentabilidade.

Considerações finais

A presente pesquisa teve como objetivo analisar as contribuições da Química Verde e da sustentabilidade para o ensino de Química, destacando as estratégias relacionadas à redução dos impactos ambientais nos processos químicos e suas contribuições para a formação e a educação científica. A partir da revisão da literatura, foi possível compreender que a Química Verde, além de representar uma importante mudança na forma de planejar, desenvolver e aplicar processos e produtos químicos, constitui uma possibilidade de abordagem no ensino de Química, favorecendo a articulação entre os conhecimentos químicos, as questões ambientais e os princípios da sustentabilidade.

Os estudos analisados demonstraram que a Química Verde vai além da simples substituição de substâncias consideradas nocivas, constituindo uma abordagem que integra inovação científica, responsabilidade ambiental e desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, os princípios propostos por Anastas e Warner fornecem diretrizes para a construção de processos produtivos mais seguros e eficientes, favorecendo a redução da geração de resíduos, o melhor aproveitamento das matérias-primas, a diminuição dos riscos ambientais e o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis. Essas contribuições foram identificadas em diferentes áreas, incluindo a indústria, a agricultura, o tratamento de águas e os processos educacionais.

Nesse contexto, a principal contribuição desta revisão bibliográfica consiste em reunir e sintetizar estudos sobre a temática, proporcionando uma visão mais ampla acerca dos fundamentos, princípios, aplicações e desafios da Química Verde. Essa sistematização pode subsidiar novas pesquisas e ampliar as discussões sobre a adoção de práticas químicas sustentáveis em diferentes áreas do conhecimento.

Outro aspecto relevante refere-se à relação entre Química Verde e educação. A inserção dessa temática nos processos formativos possibilita ampliar as discussões sobre sustentabilidade e contribuir para a formação de profissionais e cidadãos mais conscientes acerca dos impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente, além de favorecer a compreensão do papel da ciência na busca por soluções para os desafios ambientais contemporâneos.

Entretanto, por tratar-se de uma revisão bibliográfica, este estudo apresenta limitações relacionadas ao conjunto de publicações selecionadas e analisadas, não contemplando investigações experimentais ou estudos de campo que permitam avaliar a aplicação prática dos princípios da Química Verde em contextos específicos.

Considerando essas limitações, sugere-se que pesquisas futuras aprofundem a investigação sobre a aplicação da Química Verde em diferentes setores produtivos, bem como desenvolvam estudos voltados à avaliação de seus impactos ambientais, econômicos e sociais. Também se considera relevante ampliar as pesquisas relacionadas ao ensino da Química Verde e à formação de profissionais comprometidos com práticas mais sustentáveis.

Conclui-se, portanto, que a Química Verde constitui uma estratégia relevante para a promoção do desenvolvimento sustentável, ao propor alternativas capazes de conciliar avanços científicos e tecnológicos com a preservação ambiental. Embora avanços significativos tenham sido observados nas últimas décadas, permanecem desafios relacionados à ampliação da aplicação de seus princípios em diferentes setores da sociedade. Nesse sentido, o fortalecimento de pesquisas, políticas públicas e ações

educativas pode contribuir para a adoção de práticas sustentáveis e para a construção de modelos de desenvolvimento mais equilibrados e ambientalmente responsáveis.

Referências

ALMEIDA, Queli Aparecida Rodrigues *et al.* Química verde nos cursos de Licenciatura em Química do Brasil: mapeamento e importância na prática docente. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 15, n. 34, p. 178-187, jul./dez., 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v15i34.6971>. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/revistaamazonia/article/view/6971/6042>. Acesso em: 03 jun. 2026.

ANASTAS, Paul T.; WARNER, John C. **Green Chemistry: Theory and Practice**. New York: Oxford University Press, 1998.

ANDRADE, Rosivânia da Silva; ZEIDLER, Vania Gomes Zuin. A química verde e sustentável: Dos princípios à inserção na educação química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 24, n. 1, p. 208-229, 2025. Disponível em: https://reec.educacioneditora.net/volumenes/volumen24/REEC_24_01_11_ex2073_904.pdf. Acesso em: 05 jun. 2026.

AYRES, Fernando Martins; AMARAL, Carmen Lúcia Costa. A questão da sustentabilidade ambiental no ensino de química. **REnCiMa: Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 7, n. 5, p. 1-11, 2016. DOI: <https://doi.org/10.26843/rencima.v7i5.1230>. Disponível em: <https://revistapos.cruzeirodosul.edu.br/rencima/article/view/1230/861>. Acesso em: 04 jun. 2026.

BENEDICTO, Samuel Carvalho; BENEDICTO, Élide. Pallos de; SILVA, Luiz Henrique Vieira da. Inovação e sustentabilidade estratégica nas organizações: química verde, ecotecnologia e ecoeficiência aplicadas à Cadeia Produtiva de Couro, Calçados e Artefatos. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 15, n. 3, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17271/1980082715320192188>

FERRAZ, Júlia Maria Soares *et al.* Educação inclusiva em química verde para surdos: contextualização por meio de situações-problema. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, Portugal, v. 17, n. 1, p. 01-25, 2025. DOI: <https://doi.org/10.55905/cuadv17n1-022>.

FERREIRA, Vitor Francisco; ROCHA, David Rodrigues da; SILVA, Fernando Carvalho da. Química Verde, Economia Sustentável e Qualidade de Vida. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 6, n. 1, p. 85-111, 2014. DOI: 10.5935/1984-6835.20140008.

GOMES, Lucas de Souza *et al.* Panorama da inclusão dos conceitos de química verde nas licenciaturas em química dos institutos federais. **Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental**, v. 27, n. 1, p. 1-24, ago. 2022. DOI:

<https://doi.org/10.14295/ambeduc.v27i1.13526>. Disponível em:

<https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/13526>. Acesso em: 09 jun. 2026.

LEAL, Adriana Lopes; MARQUES, Carlos Alberto. O conhecimento químico e a questão ambiental na formação docente. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 29, p. 30-33, ago. 2008. Disponível em: <https://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc29/07-PEQ-2807.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2026.

MANGRICH, Antonio Sálvio *et al.* Química verde no tratamento de águas: uso de coagulante derivado de tanino de *Acacia mearnsii*. **Revista Virtual de Química**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 2-15, jan./fev. 2014. DOI: 10.5935/1984-6835.20140002.

MARCELINO, Leonardo Victor; MARQUES, Carlos Alberto. A pesquisa em Ensino de Química Verde: temas e tipologias de estudos. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, Belém, v. 19, n. 42, p. 232-254, ago. 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v19i42.14563>.

MOREIRA, Amanda Magagnin; AIRES, Joanez Aparecida; LORENZETTI, Leonir. Abordagem CTS e o conceito química verde: possíveis contribuições para o ensino de química. **ACTIO: Docência em Ciências**, Curitiba, v. 2, n. 2, p. 193-210, jul./set. 2017. DOI: 10.3895/actio.v2n2.6825.

RODRIGUES, Sérgio Paulo Jorge. Mal-entendidos, preconceitos e mitos sobre química na sociedade contemporânea. In: II CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO, AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Atas do II Congresso Internacional Educação, Ambiente e Desenvolvimento**. 2016. p. 317-330.

SILVA, Daiane Dantas da. **Abordagem inclusiva da Química Verde e sustentável para estudantes surdos e ouvintes no Ensino Médio integrado**. 2025. 52 f. TCC (Graduação em Licenciatura em Química) – Campus Sousa, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Sousa, 2025.

SOUSA, Alessandra Carvalho de; SILVA, Cristina Emanuely da; COSTA, Tairiz Tatiani da. Ações de extensão no ensino médio: química verde e desenvolvimento sustentável. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 6, p. 6834-6844, jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n6-174>.

SOUSA, Rafael Arromba; FERNANDES, Karine G. **Química Ambiental**. Juiz de Fora: Edição do autor, 2023.

TSUKUI, Anna; REZENDE, Claudia Moraes de. Extração assistida por micro-ondas e química verde. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 6, p. 1713-1725, 2014. DOI: 10.5935/1984-6835.20140111.

ZITEI-BAPTISTA, Luis Fernando; RIBEIRO, João Pedro Mardegan; TAPIA-BLÁCIDO, Delia Rita. Formação técnica voltada à sustentabilidade: experiência com química

verde, economia circular e educação ambiental sintrópica. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 1, n. 03, p. 1-29, 2026. DOI: <https://doi.org/10.61164/fwzvd004>.

APÊNDICE 1 – INFORMAÇÕES SOBRE O MANUSCRITO

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano), pelo apoio institucional e pela contribuição para a formação acadêmica e científica; ao Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID), pelas experiências formativas e pelo incentivo à iniciação à docência e à pesquisa; e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por todo o apoio e suporte oferecidos durante o desenvolvimento das atividades acadêmicas e científicas que contribuíram para a realização deste trabalho.

FINANCIAMENTO

Não se aplica.

CONTRIBUIÇÕES DE AUTORIA

Conceptualização: Heloiza Vitória Correia Luciano, Gabriel dos Santos Luz e Marcela Carmen de Melo Burger; Metodologia: Heloiza Vitória Correia Luciano e Gabriel dos Santos Luz; Software: N/A (não aplicável); Validação: Marcela Carmen de Melo Burger; Análise formal: Heloiza Vitória Correia Luciano e Gabriel dos Santos Luz; Investigação: Heloiza Vitória Correia Luciano e Gabriel dos Santos Luz; Recursos: Heloiza Vitória Correia Luciano e Gabriel dos Santos Luz; Curadoria de dados: Heloiza Vitória Correia Luciano e Gabriel dos Santos Luz; Escrita - Esboço original: Heloiza Vitória Correia Luciano e Gabriel dos Santos Luz; Escrita - Revisão & Edição: Heloiza Vitória Correia Luciano; Visualização: Heloiza Vitória Correia Luciano e Gabriel dos Santos Luz; Supervisão: Marcela Carmen de Melo Burger; Gestão do projeto: Heloiza Vitória Correia Luciano e Marcela Carmen de Melo Burger; Captação de financiamento: N/A (não aplicável).

USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

Não houve uso de inteligência artificial generativa.

APROVAÇÃO DE COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Não se aplica.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declararam não haver nenhum conflito de interesse de ordem pessoal, comercial, acadêmica, política e financeira referente a este manuscrito.

DISPONIBILIDADE DE DADOS DE PESQUISA

Publicação e abertura dos dados da pesquisa: Incentivamos os autores a tornarem seus dados de pesquisa disponíveis de forma aberta. Isso promove a transparência, permite a reutilização dos dados por outros pesquisadores e fortalece a base de evidências científicas.

DIREITOS AUTORAIS

Os direitos autorais são mantidos pelos autores, os quais concedem à Revista Brasileira de Ensino de Ciências Naturais, os direitos exclusivos de primeira publicação. Os autores não serão remunerados pela publicação de trabalhos neste periódico. Os autores têm autorização para assumir contratos adicionais separadamente, para distribuição não exclusiva da versão do

trabalho publicado neste periódico (ex.: publicar em repositório institucional, em site pessoal, publicar uma tradução, ou como capítulo de livro), com reconhecimento de autoria e publicação inicial neste periódico. Os editores da Revista têm o direito de realizar ajustes textuais e de adequação às normas da publicação.

POLÍTICA DE RETRATAÇÃO - CROSSMARK/CROSSREF

Os autores e os editores assumem a responsabilidade e o compromisso com os termos da Política de Retratação da Revista Brasileira de Ensino de Ciências Naturais.



OPEN ACCESS

Este manuscrito é de acesso aberto (Open Access), sem cobrança de taxas de submissão ou processamento de artigos (APCs). Isso significa que pode ser lido, baixado, copiado, distribuído e utilizado livremente, dentro dos termos legais aplicáveis.



LICENÇA DE USO

Este trabalho está licenciado sob a Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0), que permite compartilhar, copiar, redistribuir, adaptar e remixar o material, desde que seja atribuído o devido crédito aos autores e à publicação original.



VERIFICAÇÃO DE SIMILARIDADE

Este manuscrito foi submetido a uma verificação de similaridade utilizando o software de detecção de texto iThenticate da Turnitin, através do serviço Similarity Check da Crossref.



PUBLISHER

Programa de Pós-graduação em Educação e Ensino de Ciências na Amazônia – PPGECA. Publicação no Portal de Periódicos da Universidade do Estado do Pará. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da referida universidade.



EDITOR

Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza  

HISTÓRICO

Submetido: 07 de junho de 2026.

Aprovado: 30 de setembro de 2026.

Publicado: 07 de outubro de 2026.