

## **A abordagem dos princípios da Química Verde e sustentabilidade no livro didático de química do ensino médio**

**Alessandra Carvalho de Sousa<sup>1</sup>, Cristina Emanuely da Silva<sup>2</sup> e Tairiz Tatiani da Costa<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Brasil. <sup>2,3</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Brasil. E-mails: [alemelcarv@gmail.com](mailto:alemelcarv@gmail.com); [cristinaemanuelle@hotmail.com](mailto:cristinaemanuelle@hotmail.com); [tairiz.trt@gmail.com](mailto:tairiz.trt@gmail.com)

**Resumo:** A temática central deste artigo se vincula às discussões sobre o ensino de química orientado a critérios de sustentabilidade, com o propósito de reorientar os programas educacionais em todos os seus níveis e modalidades na direção de uma ciência para a sustentabilidade, tal como preconiza a Agenda 2030 das Nações Unidas. Mediante um estudo de natureza qualitativa, realizou-se análise de conteúdo dos livros didáticos de química das três séries do ensino médio, com o objetivo de analisar a incorporação dos Princípios da Química Verde no currículo de química, no âmbito da rede pública de ensino do Estado do Rio Grande do Norte, região nordeste do Brasil. Delimitaram-se categorias de análises fundamentadas nos preceitos da química sustentável, como forma de identificar sua inclusão e aplicabilidade no contexto prático da última etapa da educação básica. Os resultados indicaram a incorporação dos princípios da Química Verde, tanto de forma implícita como de forma explícita, nas unidades de todos os livros analisados, em todas as inferências realizadas, mediante a triangulação das categorias de análise, unidades de registro e unidades de contexto.

**Palavras-chave:** química verde, sustentabilidade, livro didático, ensino médio, ensino de química.

**Title:** Green Chemistry principles and sustainability on the Secondary Education's Chemistry textbook

**Abstract:** The central theme of this paper is related to the discussions on Chemistry teaching oriented to sustainability criteria, aiming to redirect educational programs of every level and mode towards a science for sustainability, as the 2030 United Nations Agenda advocates. Through a qualitative research, the contents of the Chemistry textbooks organized for students of the secondary education were analyzed, aiming to find the incorporation of the Green Chemistry Principles on the Chemistry curriculum in the public education system of Rio Grande do Norte, in Brazil's Northeast region. Analytical categories were delineated, being based on the sustainable chemistry principles, as a way of indentifying its inclusion and applicability on the practical context on the last stage of basic education. The results indicated an incorporation of Green Chemistry principles, both implicitly and explicitly, in the units of the analyzed books, in every realized

inference, through the analytical categories, registration units and units of context triangulation.

**Keywords:** green chemistry, sustainability, textbook, secondary education, Chemistry teaching.

### **Introdução**

A partir do modelo capitalista industrial moderno, a indústria química contribuiu em grande medida com o aumento da toxicidade e, conseqüentemente, devastação do meio ambiente. Isto se deu, principalmente, devido à poluição das águas e do ar, que aumenta cada vez mais a incidência de desastres naturais, aquecimento global e desaparecimento de espécies (vegetal e animal), comprometendo a qualidade de vida e a saúde humana (Bybee, 1991; Boff, 2006; Brito e Pontes, 2009; Cruz, Borba e Abreu, 2019).

Desde que a Agência de Proteção Ambiental (EPA) teve o olhar voltado para a Química Verde, a sociedade, principalmente as instituições de educação, despertaram o interesse na realização de pesquisas voltadas para essa temática. E isso tem levado a criação de vários grupos de pesquisas cadastrados no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Correa e Zuin, 2009).

Esta visão de se alcançar um futuro sustentável no âmbito da educação básica, especificamente no ensino de Química, ressalta a necessidade de se pensar e planejar o uso de recursos e materiais didáticos que venham contribuir para a construção de uma ciência para a sustentabilidade, provocando um amadurecimento do aluno a partir das reflexões, tomadas de decisões e pensamentos críticos sobre a problemática socioambiental. Para tanto, é necessário que haja um esforço coletivo para promover mudança de comportamento, possibilitando uma conexão do cotidiano dos alunos com as práticas adquiridas através do ensino de Química (Cortes e Fernandez, 2016; Garritz, 2010; Marques e Machado, 2018).

No que se refere ao currículo de Química, o livro didático se configura como o instrumento mais utilizado pelos professores em sala de aula, sendo na maioria das vezes o único suporte pedagógico para a organização do ensino (Cassiano e Echeverría, 2014; Bego, Suart Júnior, Prado e Zuliani, 2019). Logo, essa ferramenta deve estabelecer processos de mudanças para um futuro sustentável, contemplando a inclusão dos princípios da Química Verde no currículo explícito e nas práticas curriculares.

Sob esta linha de pensamento, como tornar realidade no âmbito escolar à visão de desenvolver uma Química sustentável? Como perceber a existência da inclusão dos princípios da Química Verde no currículo? Pensando nisso, esse artigo realizou um estudo analítico-crítico sobre a incorporação dos princípios Química Verde no livro de química das três séries do ensino médio, material didático adotado pela rede estadual de ensino do Rio Grande do Norte, região nordeste do Brasil.

Para tanto, considerou-se necessário realizar uma cuidadosa análise de conteúdo (Bardin, 2009; Krippendorff, 1997) dos livros didáticos mencionados, de maneira que se pudessem ver os aspectos implícitos e

explícitos relacionados à presença dos princípios da Química Verde em sua proposta curricular.

Todo esse trabalho minucioso refletiu o desafio de promover uma ciência para a sustentabilidade (Vilches e Gil-Pérez, 2013), pois, a ciência, como produto da atividade humana, é uma construção dialética do conhecimento, tanto na sua forma qualitativa, quanto quantitativa. O conhecimento que constrói a ciência se transmite através do ensino; o ensino, como atividade cognitiva, desenvolve-se de forma organizada através da educação institucionalizada nos diversos âmbitos. Então, se se educa através do ensino e se ensina na escola, é na escola onde a ciência é ensinada, guiando-se por diferentes materiais didáticos, dentre eles, o livro didático, que pode, por sua vez, incorporar ou não, os princípios de uma ciência para a sustentabilidade (Garritz, 2009; Machado, 2011; Pitanga, 2016; Prsybyciem, Silveira, Sauer e Zanotto, 2014).

### **Fundamentação teórica**

A Química Verde emerge e se desenvolve como campo de estudos e pesquisas ao longo da década de 1990, também como reflexo do movimento ambientalista moderno, iniciado na década de 1960, incentivado pela publicação da obra *Silent Spring* (Primavera Silenciosa), da bióloga estadunidense Rachel Carson, em 1962, e pela força do conceito de Desenvolvimento Sustentável (Brundtland, 1989).

A partir daí, a Química Verde (QV em diante) passa a ser definida pela IUPAC como a criação, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias tóxicas. Tal definição contribuiu para o desenvolvimento de estudos e pesquisas nesta nova área de conhecimento e culminou com a publicação dos 12 (doze) princípios da Química Verde (Anastas e Warner, 1998), guiados pelo compromisso de fomentar uma química limpa e sustentável, norteando a avaliação do impacto ambiental das pesquisas na área da Química.

De acordo com Lenardão, Freitag, Dabdoub, Batista e Silveira (2003), os 12 princípios (indicados pela letra p) da QV funcionam como marco conceitual na configuração e desenvolvimento de produtos e processos de síntese orientados à prevenção de problemas socioambientais. São eles:

a) p1 (prevenção): evitar a formação de resíduos para não tratá-lo, eliminando assim a possibilidade de poluição futura.

b) p2 (economia atômica): planejar metodologias sintéticas que maximizem a incorporação de todos os materiais de partida no produto final, eliminando ou diminuindo a formação de resíduos.

c) p3 (síntese segura): reduzir a toxicidade no processo de síntese de um produto químico, tanto de reagentes quanto de produtos.

d) p4 (desenho de produtos seguros): desenhar produtos químicos seguros e eficientes, de tal modo que realizem a função desejada e não sejam tóxicos.

e) p5 (solventes e auxiliares seguros): eliminar ou reduzir o uso de substâncias auxiliares como, solventes, agentes de purificação e secantes

tóxicas. Quando for inevitável, estas substâncias devem ser inócuas ou reutilizadas.

f) p6 (eficiência energética): a utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada. Se possível, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes.

g) p7 (uso de matéria-prima de fontes renováveis): priorizar o uso de biomassa como matéria-prima no desenvolvimento de novas tecnologias e processos, em detrimento de fontes não renováveis.

h) p8 (evitar a formação de derivados): minimizar a derivatização desnecessária ou, se possível, evitá-la, porque estas etapas requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.

i) p9 (catálise): priorizar reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) em substituição aos reagentes estequiométricos.

j) p10 (geração de produtos biodegradáveis): desenhar e produzir produtos químicos que se fragmentem em produtos de degradação inócuos e não permaneçam no ambiente, ao final de sua função.

k) p11 (análise em tempo real para a prevenção da poluição): Desenvolver metodologias analíticas que viabilizem um monitoramento e controle dentro do processo químico em tempo real, antes da formação de substâncias nocivas.

l) p12 (química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes): Minimizar o risco de acidentes químicos, vazamento de gases, explosões e incêndios, através da escolha adequada das substâncias utilizadas em um processo químico.

Compreendida como comunidade de ensino, já que envolvem diversas redes, programas e projetos em todo o mundo na direção da ambientalização curricular, a QV caminha na direção de sua consolidação como plano teórico, conceitual e prático, para uma nova forma química de pensar e agir, na preparação das novas gerações de químicos através do ensino. Para tanto, há questões que precisam ser respondidas e levadas em consideração nesse grande projeto: qual a melhor forma de ensinar a Química Verde e de incluí-la no currículo? Quais os conteúdos e características devem ter as propostas de ensino da Química Verde? (González, Benavides, Marín, León, Torres e Corrales, 2015; Mestres, 2010).

Eilks e Rauch (2012) sugerem 03 (três) modelos possíveis de integração da QV no currículo e nas práticas curriculares das últimas fases da educação básica à educação superior:

- Modelo 1: Princípios da QV aplicado à experimentação: a intenção desse modelo só se concretiza se alunos (as) reconhecerem e compararem as mudanças introduzidas nos procedimentos de atividades experimentais e sua importância para o meio socioambiental.

- Modelo 2: Desenvolvimento de estratégias de sustentabilidade ao ensino de Química: facilita a aprendizagem do conteúdo de Química através de exemplos de produtos e processos atuais, oferecendo suficiente apoio

cognitivo para o aluno construir uma compreensão complexa, incluindo impactos econômicos, sociais e ecológicos, que estão por detrás da aplicação tecnológica de um conteúdo Química.

- Modelo 3: Educação Química como parte de um projeto escolar para o DS: o objetivo é que alunos (as) adquiram experiência na busca do Desenvolvimento Sustentável, através de ações e tomada de decisões que podem mudar suas vidas e as de seu entorno.

Todos estes modelos refletem a proposta da ONU, ao lançar, em 2015, os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (Agenda 2030), que formam um plano de ação para fortalecer políticas e projetos sobre consumo e produção responsáveis; planejamento de infraestruturas resilientes; e promoção da industrialização inclusiva e sustentável, fomentando a inovação científica e tecnológica (ONU, 2015).

Em consonância com as metas previstas na Agenda 2030, o campo da química, desde a proclamação do Ano Internacional da Química pela Assembleia Geral da ONU, em 2011, vem ressaltando a necessidade de conscientizar sobre as contribuições desse campo de conhecimento ao bem-estar da humanidade (*"Chemistry: our life, our future"*), principalmente ao papel da química no desenvolvimento de fontes de energias alternativas (ODS 7 "Energia limpa e Acessível" e ODS 11: "Cidades e comunidades sustentáveis") e a alimentação da crescente população mundial (ODS 2: "Fome zero e agricultura sustentável") (Garritz, 2011; Rezende, 2011).

A partir de então, em concordância com a Agenda 2030, estudos e pesquisas no campo da educação química estão caminhando em direção à consolidação de uma ciência para a sustentabilidade (Álvarez-García, Sureda-Negre e Comas-Forgas, 2018; Aznar-Minguet, Ull, Martínez-Agut e Piñero, 2017; Bautista-Cerro e Díaz González, 2017; Botto e Torres, 2018; Calero Llinares, Mayoral García-Berlanga, Ull e Vilches Peña, 2019; Dieste, Coma e Blasco-Serrano, 2019; Kirchhoff, 2007; Mascarell Boreda e Vilches, 2016; Marques e Machado, 2018; Murga-Menoyo, 2015; Pitanga, 2016; Unesco, 2015).

Todas estas experiências e modelos de ensino se configuram como uma base formativa que permitirá aos futuros químicos uma visão holística sobre a relação entre educação e desenvolvimento sustentável, compreendendo de forma crítica a dimensão científica de alguns princípios, como os da incerteza científica e da precaução científica, incorporados na filosofia dos princípios e valores da Química Verde.

#### *Inclusão da sustentabilidade no currículo para o ensino médio*

Sobre a inclusão da sustentabilidade no currículo para o ensino médio, a disciplina de química reflete diretamente na formação cidadã dos estudantes, dando-lhes a oportunidade de obter um conhecimento sólido sobre a influência da química e seus efeitos ao meio ambiente. Além disso, esse conhecimento formará pessoas com o poder de participação efetiva, com argumentações baseadas em fundamentos, já que a química está ligada diretamente às questões ambientais, diante do surgimento em grande escala de inúmeras novas substâncias, sendo necessária a exploração da natureza (Prsybyciem, Silveira, Sauer e Zanotto, 2014).

Com a ocorrência das grandes transformações da sociedade e as discussões da relação socioambiental, os currículos para o ensino médio tiveram que sofrer adaptações apresentando a problemática do meio ambiente como um ponto obrigatório de ser articulado ao conhecimento escolar, sob uma perspectiva de formação cidadã, em que os princípios da QV devem ser inseridos, mostrando ao aluno uma química sustentável e completamente segura (Cassiano e Echeverría, 2014).

Sobre este aspecto, as Diretrizes Curriculares Nacionais (Ministério da Educação do Brasil, 2013), já traziam a sustentabilidade como meta universal para o currículo da última etapa da educação básica, de modo a ratificar o compromisso com a qualidade da educação no século XXI; ampliar a necessidade dos educadores compreenderem a complexidade inerente dos problemas socioambientais locais e globais. Este documento curricular reforça ainda que:

Tais questões [*questões ambientais*] despertam o interesse das juventudes de todos os meios sociais, culturais, étnicos e econômicos, pois apontam para uma cidadania responsável com a construção de um presente e um futuro sustentáveis, saudáveis e socialmente justos. No Ensino Médio há, portanto, condições para se criar uma educação cidadã, responsável, crítica e participativa, que possibilita a tomada de decisões transformadoras a partir do meio ambiente no qual as pessoas se inserem, em um processo educacional que supera a dissociação sociedade/natureza (Ministério da Educação do Brasil, 2013, p.166).

Nessa mesma direção, é também finalidade do ensino médio, de acordo com a Base Nacional Curricular Comum (BNCC) (Ministério da Educação do Brasil, 2018), o "aprimoramento do educando como pessoa humana [...] tendo em vista a construção de uma sociedade mais justa, ética, democrática, inclusiva, sustentável e solidária" (p. 466). Preconiza a necessidade de, no ensino médio, se construir projetos pessoais e coletivos baseados na cooperação e na sustentabilidade. Para isso, na direção de substituir o modelo único de currículo do Ensino Médio por um modelo diversificado e flexível, a Lei nº 13.415/2017 alterou a Lei de Diretrizes e Bases (LDB 9.394/1996), estabelecendo que:

O currículo do ensino médio será composto pela Base Nacional Comum Curricular e por itinerários formativos, que deverão ser organizados por meio da oferta de diferentes arranjos curriculares, conforme a relevância para o contexto local e a possibilidade dos sistemas de ensino, a saber: I – linguagens e suas tecnologias; II – matemática e suas tecnologias; III – ciências da natureza e suas tecnologias; IV – ciências humanas e sociais aplicadas; V – formação técnica e profissional (LDB, Art. 36; grifo nosso).

Em relação ao itinerário formativo "Ciências da natureza e suas tecnologias", a BNCC preconiza que:

Nas sociedades contemporâneas, muitos são os exemplos da presença da Ciência e da Tecnologia, e de sua influência no modo como vivemos, pensamos e agimos: do transporte aos eletrodomésticos; da telefonia celular à internet; dos sensores óticos

aos equipamentos médicos; da biotecnologia aos programas de conservação ambiental; dos modelos submicroscópicos aos cosmológicos; do movimento das estrelas e galáxias às propriedades e transformações dos materiais. Além disso, questões globais e locais com as quais a Ciência e a Tecnologia estão envolvidas – como desmatamento, mudanças climáticas, energia nuclear e uso de transgênicos na agricultura – já passaram a incorporar as preocupações de muitos brasileiros. Nesse contexto, a Ciência e a Tecnologia tendem a ser encaradas não somente como ferramentas capazes de solucionar problemas, tanto os dos indivíduos como os da sociedade, mas também como uma abertura para novas visões de mundo (Ministério da Educação do Brasil, 2018, p. 477).

Nesta perspectiva, a BNCC defende que aprender Ciências da Natureza vai mais além da aprendizagem de seus conteúdos conceituais. Através de uma mirada articulada da Biologia, da Física e da Química, definem competências e habilidades que permitem a sistematização das aprendizagens no que se refere aos conhecimentos conceituais da área à contextualização social, cultural, ambiental e histórica desses saberes.

Na competência que expressa a “análise dos fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia” (Ministério da Educação do Brasil, 2018, p. 480), os fenômenos naturais e os processos tecnológicos são analisados sob a perspectiva das relações entre matéria e energia, possibilitando, por exemplo, a avaliação de potencialidades, limites e riscos do uso de diferentes materiais e/ou tecnologias para tomar decisões responsáveis e consistentes diante dos diversos desafios contemporâneos, tal como preconiza o princípio 01 da QV, relacionado à prevenção.

Já a competência “Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis” (*Ibid*, p. 481), converge, essencialmente, na compreensão de que os educandos do ensino médio tenham a oportunidade de elaborar reflexões que situem a humanidade e o planeta Terra na história do Universo, bem como do conhecimento da evolução histórica dos conceitos e das diferentes interpretações e controvérsias envolvidas nessa construção, na construção de uma ciência para a sustentabilidade (Boff, 2006; Morin, 2009).

Portanto, estas competências expressam a necessidade de se avaliar os limites da ciência para conhecer um pouco o futuro próximo e o que deixaremos às próximas gerações. Uma responsabilidade que deve passar pela escola, aparelho ideológico do Estado (Silva, 2016), que deve expressar de forma explícita em seus currículos os pilares da sustentabilidade e seu compromisso com uma educação para o desenvolvimento sustentável em todos os níveis e modalidades de ensino.

## **Metodologia**

Para descrever e analisar a incorporação teórica e metodológica dos princípios da QV no livro didático de química das três séries do ensino médio, optou-se por desenvolver um trabalho de natureza qualitativa

(Denzin e Lincoln, 2012; Sampieri, Collado e Baptista-Lucio, 2015). Esta primeira opção metodológica possibilitou, sobretudo, realizar uma categorização teórico-metodológica para a análise dos dados, com a finalidade de obter uma inferência sensível de um conjunto amplo de informações (Angrosino, 2012).

Nesse sentido, a segunda opção metodológica consistiu em utilizar a técnica da análise de conteúdo, fundamentada nas obras de Bardin (2009) e Krippendorff (1997), uma técnica que consiste na organização e seleção do material a ser analisado, em nosso caso específico, os livros didáticos de Química das três séries do ensino médio, da autora Martha Reis Marques da Fonseca (Fonseca, 2016a, 2016b, 2016c). A escolha desse material didático atendeu os seguintes critérios: a) obras adotadas pela maioria das Diretorias Regionais da Educação e Cultura (DIRECs) da rede estadual de ensino do Rio Grande do Norte, para o triênio 2017-2020; e b) obra avaliada e disponibilizada pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD). Além disso, este material didático também é utilizado pelos *campi* do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) na região oeste potiguar.

A técnica da análise de conteúdo organiza-se em três fases fundamentais: 1) pré-análise, 2) exploração do material e 3) tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

A pré-análise é a fase de organização do material que será analisado, buscando a sistematização das ideias. Deu-se em três momentos: a) leitura dos livros didáticos, com o objetivo de se familiarizar com o material e estabelecer uma conexão, conhecendo os textos. b) escolha dos documentos, demarcando o que o que será de fato analisado; e c) recortes e inferências nos textos analisados que sejam indicadores referenciais da pesquisa.

A exploração do material, segunda fase da análise de conteúdo, foi o que compôs a investigação minuciosa do material escolhido, através da delimitação de categorias e inferências, que consistiram em desenvolver um processo de dedução lógica, para chegar a conclusões que permitam transcender o conteúdo explícito e implícito dos textos. Em princípio, a análise de conteúdo conduziu a uma descrição fundada no conteúdo manifesto nos livros didáticos analisados, o que implicou introduzir classificações e também comparações com a teoria estudada (Krippendorff, 1997).

A terceira fase correspondeu ao tratamento dos resultados. Nesse momento se realizou a interpretação e inferência das informações coletadas de forma crítica e reflexiva, destacando as informações para obtenção dos resultados finais. Em relação às categorias de análise, delimitaram-se três áreas fundamentais e diferenciadas, baseadas nos próprios princípios da Química Verde (Eilks e Rauch, 2012), a saber: a) prevenção dos riscos, b) metodologias químicas e c) planejamento da ação.

A categoria prevenção dos riscos evidencia qual a melhor opção, quando se trata de substâncias e materiais perigosos, é evitá-los desde a sua origem ou causas; ou seja, evitar as causas dos riscos (p1- prevenção; p6- eficiência energética; p7- uso de matéria-prima de fontes renováveis; p11-

análise em tempo real para a prevenção da poluição; p12- química intrinsecamente segura para a prevenção de acidentes).

A categoria metodologias químicas (p2- economia atômica; p3- síntese segura; p5- solventes e auxiliares seguros; p9- catálise; p10- geração de produtos biodegradáveis) pretende explicar que a contaminação e os perigos que têm sua origem nas substâncias químicas, devem ter também uma solução química. A química e a engenharia química devem evitar a dispersão e efeitos das substâncias e resíduos contaminantes e perigosos gerados em qualquer processo químico.

Em relação à categoria planejamento da ação, reforça que o planejamento dos experimentos químicos não deve ser fruto da casualidade, mas deve ter um propósito definido à sustentabilidade. Os princípios relacionados com esta área são: p4- desenho de produtos seguros; p7- uso de matéria-prima de fontes renováveis; p8- evitar a formação de derivados; p10- geração de produtos biodegradáveis; p11- análise em tempo real para a prevenção da poluição.

### **Resultados e discussões**

O pensamento de Anastas e Warner (1998) ao apresentarem os 12 princípios da Química Verde, caminhou na direção de delimitar as três categorias fundamentais para sua aplicabilidade. Como já foi explicada na seção anterior, a análise de conteúdo dos livros didáticos selecionados (Unidade de Amostra: livros didáticos da disciplina de Química das três primeiras séries do ensino médio, da autora Martha Reis Marques da Fonseca), foi realizada considerando as seguintes categorias de análise: prevenção dos riscos, metodologias químicas e planejamento da ação.

No processo de análise de conteúdo, as "Unidades de Registros" se referem às unidades e capítulos dos livros didáticos já mencionados, que tratem de forma explícita e implícita da incorporação dos princípios da QV. Trata-se de unidades de registros que considerem globalmente a problemática socioambiental. Em relação à contextualização dessas problemáticas tratadas nas unidades e capítulos, Krippendorff (1997) denomina de "Unidades de Contexto", ou seja, menções à temática aplicada a um determinado contexto, que correspondem às inferências realizadas em todo processo de análise.

#### *Análise de conteúdo do livro didático de Química da 1ª série do ensino médio*

No âmbito desta pesquisa, a análise teve início com a apreciação dos conteúdos programáticos do livro de química da 1ª série do ensino médio, organizado em 05 unidades, em que cada uma delas apresenta entre 02 e 03 capítulos. Na Tabela 1, tem-se a especificação das unidades de registro e categorias de análise relacionadas, especificando a relação com os princípios da QV.

##### - Unidades de Contexto (livro de Química da 1ª série do ensino médio)

Em relação às "Unidades de Contexto", que são as menções à temática aplicada a um determinado contexto, que correspondem às inferências realizadas em todo processo de análise, no Capítulo 1 da Unidade 1

("Mudanças climáticas"), o texto introdutório reflete sobre as mudanças climáticas e sobre a toxicidade química, apresentando o tópico: "A Química pode proporcionar qualidade de vida?", em que faz referência ao conceito da Química Verde, "praticada com processos químicos que eliminam ou minimizam a produção de rejeitos" (Fonseca, 2016a, p. 12). Traz à discussão, mesmo que de forma implícita, da problemática da emissão de dióxido de carbono na atmosfera e a reflexão de como a química pode contribuir com estudos e pesquisas sobre este tema.

<b>Unidades de registro</b>	<b>Categorias de análise envolvidas</b>
Unidade 1: "Mudanças Climáticas" - Capítulo 1: "Estudo da Química e as grandezas físicas" - Capítulo 2: "Propriedades da Matéria" - Capítulo 3: "Substâncias e misturas"	- Prevenção dos riscos (p1; p6; p7).
Unidade 2: "Oxigênio e ozônio" - Capítulo 4: "Transformações da matéria" - Capítulo 5: "Notações químicas"	- Prevenção dos riscos (p1; p6; p7). - Planejamento da ação (p10 e p11).
Unidade 3: "Poluição eletromagnética" - Capítulo 06: "Eletricidade e radioatividade" - Capítulo 07: "Modelo básico do átomo e a lei periódica"	- Prevenção dos riscos (p1; p6; p7). - Metodologias químicas, que explica a contaminação e os perigos que têm sua origem nas substâncias químicas (p3 e p10). - Planejamento da ação (p10 e p11).
Unidade 4: "Poluição de interiores" - Capítulo 8: "Ligações covalentes e forças intermoleculares" - Capítulo 9: "Compostos orgânicos"	- Prevenção dos riscos (p1; p6; p7; p12). - Planejamento da ação (p4; p7; p10; p11).
Unidade 5: "Chuva ácida" - Capítulo 10: "Ligação iônica e compostos inorgânicos" - Capítulo 11: "Metais e oxirredução"	- Prevenção dos riscos (p1; p6; p7). - Metodologias químicas, que explica a contaminação e os perigos que têm sua origem nas substâncias químicas (p5 e p10). - Planejamento da ação (p4 e p11).

Tabela 1.- Análise de conteúdo do livro de Química da 1ª série. Fonseca (2016a).

Além disso, nesta unidade são apresentados experimentos que envolvem os princípios da QV, assim como em todas as demais unidades do livro. Com isso, fica claro o compromisso da autora com a abordagem das problemáticas socioambientais. De acordo com Vilches e Gil-Pérez (2013), o crescimento de práticas que envolvem a QV no meio acadêmico se configura como uma ferramenta essencial para o letramento científico de profissionais da educação para o desenvolvimento de novas metodologias científicas e tecnológicas comprometidas com o Desenvolvimento Sustentável.

O Capítulo 4 da Unidade 2, referente ao conteúdo de "transformações da matéria" começa trazendo o seguinte questionamento: "Existe algum lugar do planeta que ainda não foi poluído?". Traz também a reflexão de que "o problema da poluição do ar é que é impossível fugir dela mesmo ao se afastar da sua fonte. Massas de ar transportam poluição por toda parte do planeta" (Fonseca, 2016a, p. 73).

Logo após esta contextualização socioambiental, é introduzido o conteúdo relacionado a transformações da matéria, abordando equações químicas; reações químicas e constituição da matéria. Não há, portanto, referência explícita aos princípios da QV, mas há uma contextualização do problema da poluição, à medida que se apresenta o estudo das reações químicas.

No Capítulo 5, ao introduzir o conteúdo de “notações químicas”, a autora discute sobre o fenômeno do “vórtex polar e as propriedades dos CFCs”. Em relação aos clorofluorcarbonetos (CFCs), que revolucionou a indústria de refrigeração (geladeiras, freezers, ar-condicionados), nos anos 1928, pela obtenção de espumas sintéticas ou de produtos altamente oxidantes (o flúor é o átomo mais eletronegativo que existe), a autora expõe sinteticamente que, na década de 1970, estudos comprovam os danos que CFCs causam a camada de ozônio ( $O_3$ ). Uma vez mais se dá ênfase à problemática da toxicidade química ao trabalhar as nomenclaturas atuais, símbolos dos elementos químicos, fórmulas das substâncias e balanceamento das equações.

A Unidade 3 traz à discussão a problemática da poluição eletromagnética, caracterizada pelo “excesso de radiações invisíveis às quais estamos submetidos o tempo todo [...] proveniente da enorme quantidade de aparelhos eletroeletrônicos com os quais convivemos diariamente, como celulares, computadores, televisores, videogames [...]” (Fonseca, 2016a, p. 132). Discute sobre a controvérsia da inocuidade (ou não) dos aparelhos móveis (celulares, tablets, *hotspot* e outros) para a saúde, principalmente em relação ao uso por crianças, cujas células ainda estão em intensa divisão. Recomenda-se restrição do uso desses aparelhos para menores de 15 anos.

Há referências diretas à inocuidade dos produtos químicos, relacionados à categoria planejamento de ação e prevenção, no texto complementar que trata das radiações eletromagnéticas (*Ibid*, p. 195). Ao final, reflete sobre as causas da poluição atmosférica de interiores, apresentando compostos químicos que produzem toxicidade, a exemplo dos PCBs, formol, amianto, radônio, pesticidas e produtos domésticos, poluentes encontrados em ambientes interiores e problemas de saúde que estes elementos podem causar.

Para introduzir o conteúdo de ligações iônicas e compostos inorgânicos, a autora apresenta um texto sobre a problemática da chuva ácida, em que a neblina ou nevoeiro reage com alguns poluentes atmosféricos, como os óxidos de nitrogênio e os óxidos de enxofre, formando ácidos fortes que, por serem altamente corrosivos, causam grandes estragos, prejudicando o habitat aquático e florestas inteiras, além dos danos materiais nas grandes cidades.

Desta forma, sem mencionar diretamente os princípios da QV, a autora incorpora essa temática no currículo de química para a 1ª série do ensino médio, em que o princípio da prevenção é o grande protagonista, além dos princípios relacionados ao planejamento da ação. Finaliza a Unidade 3 explicando sobre a tutela ambiental referente à poluição eletromagnética.

Uma problemática importante e atual é apresentada na Unidade 4 (“poluição de interiores”), que introduz os conteúdos de ligações covalentes

e compostos orgânicos. Trata-se da poluição a que estamos submetidos de forma diária e que, mediante a produção de produtos seguros, com auxílio da QV, pode-se mitigar seus efeitos. No final do capítulo 8, apresenta um artigo sobre o amianto, destacando que: "depois de quase um século de estudos, porém, são conhecidas doenças graves relacionadas ao amianto, como a asbestose (doença crônica pulmonar e origem ocupacional), os cânceres de pulmão e do trato gastrointestinal, e o mesotelioma, tumor maligno raro" (Fonseca, 2016a, p. 219).

Já no Capítulo 9, a autora traz a questão da poluição do ar de interiores e, mesmo que de forma indireta, discursa na defesa de imóveis mais sustentáveis para a prevenção de doenças crônicas ligadas, sobretudo, aos sistemas de ar-condicionados, materiais de construção que não permitem a troca de ar entre o interior e o exterior e materiais tóxicos usados para forração, acabamento e mobiliário.

Na última unidade do livro da 1ª série, a problemática socioambiental que se contextualiza é a chuva ácida, temática que, mesmo não sendo tão recente, ajuda a compreender outras problemáticas mais discutidas, como aquecimento global. O texto é uma introdução ao conteúdo de ligação iônica e compostos inorgânicos. Fonseca (2016a, p. 258), apresenta um texto complementar que trata dos eventos naturais que provocam a chuva ácida, como as erupções vulcânicas, que liberam grandes quantidades de dióxido de enxofre  $\text{SO}_2$  (g), diretamente na atmosfera; Substâncias como sulfeto de hidrogênio  $\text{H}_2\text{S}$  (g); sulfeto de dimetila  $\text{CH}_3\text{SC}_3$  (g), produzidos por certos microrganismos ou por determinadas plantas e algas que reagem na atmosfera, formando o dióxido de enxofre  $\text{SO}_2$  (g) e depois ácido sulfúrico,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (aq). Além desses exemplos, a autora continua citando eventos naturais que provocam chuva ácida e os eventos de chuva ácida provocadas por ações antrópicas.

#### *Análise de conteúdo do livro didático de Química da 2ª série do ensino médio*

O livro didático de Química da 2ª série do Ensino Médio organiza-se em 05 unidades, entre 02 e 03 capítulos por unidade. As inferências realizadas mediante a triangulação das categorias de análises, unidades de registro e unidades de contexto foram bem reduzidas, já que este livro apresentou menos textos que tratassem de forma implícita ou explícita de temáticas relacionadas à QV e a seus princípios. Na Tabela 2, tem-se a especificação dos achados desta análise.

##### - Unidades de Contexto (livro de Química da 2ª série do ensino médio)

A Unidade 1 ("Meteorologia e variáveis do clima"), apenas contextualiza o conteúdo de problemáticas socioambientais no Capítulo 3, que introduz a discussão sobre os "impactos ambientais das queimadas de cana-de-açúcar" Apresenta que: "[...] Apesar dos benefícios econômicos apresentados pela expansão do setor sucroalcooleiro, algumas questões precisam ser mais bem discutidas sobre a cultura, como os impactos ambientais causados pelas queimadas [...]" (Fonseca, 2016b, p.45).

Embora não faça referência direta à QV, explica que um dos pontos mais críticos sobre a queima da palha da cana-de-açúcar são as emissões de

gases do efeito estufa na atmosfera, principalmente o gás carbônico, CO<sub>2</sub>, como também o monóxido de carbono, CO, óxido nitroso, N<sub>2</sub>O, metano, CH<sub>4</sub>, e a formação do ozônio, O<sub>3</sub>, além da poluição do ar atmosférico pela fumaça e fuligem.

A Unidade 2 ("Poluição da água") traz à discussão a problemática da escassez da água e a grande ameaça da falta de políticas e medidas eficazes para a sua solução. Apresenta as seguintes questões norteadoras: "Por que não economizamos água e não evitamos poluí-la? Por que não elaboramos um código florestal que proteja os mananciais e investimos na despoluição e no tratamento de esgoto?" (Fonseca, 2016b, p. 62).

<b>Unidades de registro</b>	<b>Categorias de análise envolvidas</b>
Unidade 1: "Meteorologia e variáveis do clima" - Capítulo 1: "Teoria cinética dos gases" - Capítulo 2: "Misturas gasosas". - Capítulo 3: "Cálculo estequiométrico".	- Prevenção dos riscos (p1; p6; p7; p11).
Unidade 2: "Poluição da água" - Capítulo 4: "Estudos das soluções". - Capítulo 5: "Propriedades coligativas".	- Prevenção dos riscos (p1). - Metodologias químicas, que explica a contaminação e os perigos que têm sua origem nas substâncias químicas (p3 e p10).
Unidade 3: "Poluição térmica" - Capítulo 06: "Reações exotérmicas e endotérmicas". - Capítulo 07: "Cinética química".	- Prevenção dos riscos (p1; p6; p7). - Metodologias químicas, que explica a contaminação e os perigos que têm sua origem nas substâncias químicas (p2, p5 e p10). - Planejamento da ação (p4 e p11).
Unidade 4: "Corais" - Capítulo 8: "Equilíbrio moleculares". - Capítulo 9: "Equilíbrios iônicos, pH e Kps"	- Prevenção dos riscos (p1; p6; p7; p11). - Planejamento da ação (p4; p7; p10).
Unidade 5: "Lixo eletrônico" - Capítulo 10: "Pilhas e baterias" - Capítulo 11: "Eletrólise"	- Prevenção dos riscos (p1; p6; p11). - Planejamento da ação (p4; p7 e p10).

Tabela 2.- Análise de conteúdo do livro de Química da 2ª série. Fonseca (2016b).

No capítulo 4, que tem como título "Estudo das soluções", traz um texto introdutório "Poluição da Baía de Guanabara assusta atletas do Rio 2016", que faz uma denúncia sobre os esgotos da cidade que são despejados diretamente sobre a Baía, causando consequências muito graves, principalmente por apresentar fezes humanas, "[...] níveis perigosamente altos de vírus e bactérias de esgotos humanos em locais de competições [...]" (Fonseca, 2016b, p.63).

A Unidade 3, Capítulo 6, que trata da poluição térmica como tema para contextualizar os conteúdos de reações exotérmicas e endotérmicas, apresenta a definição do termo, causas e impactos das indústrias em geral e também destacando os impactos gerados da indústria química, relacionando, de forma direta, as concepções presentes nos princípios p1- prevenção; p2- economia atômica; p3- síntese segura; p6- eficiência

energética; p7- uso de matéria-prima de fontes renováveis; p10- geração de produtos biodegradáveis p11- análise em tempo real para a prevenção da poluição.

No Capítulo 7, referente ao conteúdo de cinética química, ao tratar dos catalisadores, explica que é uma substância que participa da formação do complexo ativado, fazendo com que os reagentes necessitem de uma energia de ativação menor para atingir esse estado, aumentando dessa forma a taxa de desenvolvimento da reação.

Esse capítulo traz de forma explícita o conceito presente no princípio da prevenção da QV, em que fica indicado que "a melhor forma de evitar um problema ou de propor soluções para resolvê-lo é conhecer suas causas [...]" (*Ibid*, p. 122).

A Unidade 5, última unidade do livro, traz o texto introdutório que contextualiza os conteúdos de pilhas e baterias e trata da problemática do lixo eletrônico, que está se tornando um dos problemas ambientais e sociais mais graves da atualidade. Discute que, por trás dos aparelhos de alta tecnologia como celulares, computadores, tablets e máquinas fotográficas, que divertem e facilitam a vida de uma pequena parte da população mundial, há um custo voraz da degradação do meio ambiente.

A contextualização desta temática se mostra muito pertinente, principalmente porque é um tema que envolve o desejo de termos uma sociedade livre de combustíveis fósseis. Utopia? Pois sim. É com esta utopia que os americanos John B. Goodenough, o britânico-americano, M. Stanley Whittingham e o japonês, Akira Yoshino, venceram o Prêmio Nobel de Química de 2019, por desenvolverem baterias de íons de lítio. O mais importante do trabalho desses químicos foi o fato de que a partir dos íons de lítio foi possível, ainda, desenvolver materiais em nanoestrutura para aumentar a corrente das baterias, que fez com que a bateria de lítio servisse não só para os eletrônicos, mas também para carros elétricos, por exemplo.

#### *Análise de conteúdo do livro didático de Química da 3ª série do ensino médio*

O livro didático de química da última série do ensino médio, também último ano da educação básica, organiza-se em 5 unidades, em que cada uma delas apresenta também entre 02 e 03 capítulos. Na Tabela 3, pode-se observar a especificação das unidades de registro e categorias de análise, especificando a relação com os princípios da QV.

##### - Unidades de Contexto (livro de Química da 3ª série do ensino médio)

A Unidade 1 inicia falando sobre o petróleo, trazendo a grande questão de ser um recurso não renovável e também da sua importância, por se tratar de uma matéria-prima essencial para a produção de quase todos os bens de consumo. E por outro lado, fala também sobre sua extração e utilização intensiva, que o torna uma ameaça cada vez mais potente ao meio ambiente.

No Capítulo 1 dessa unidade, que fala sobre os "conceitos básicos e nomenclatura", mostra um texto retratando a poluição no rio Tietê na grande São Paulo, enfatizando os esgotos domésticos não tratados que são

despejados diretamente no rio, causando um aparecimento de uma espuma fétida, devido às descargas indiscriminadas de detergentes nas águas. Ainda nesse capítulo, em um texto que eles nomeiam como "retomando a notícia" fala sobre os tipos de detergentes, explicando os que são biodegradáveis e não biodegradáveis.

<b>Unidades de registro</b>	<b>Categorias de análise envolvidas</b>
Unidade 1: "Petróleo" - Capítulo 1: "Conceitos básicos e nomenclatura". - Capítulo 2: "Hidrocarbonetos e haletos orgânicos". - Capítulo 3: "Petróleo, hulhas e madeira".	- Prevenção dos riscos (p1; p6; p7; p11).
Unidade 2: "Drogas lícitas e ilícitas" - Capítulo 04: "Funções oxigenadas". - Capítulo 05: "Isomeria constitucional e estereoisomeria".	- Metodologias químicas, que explica a contaminação e os perigos que têm sua origem nas substâncias químicas (p2; p3; p5; p9 e p10).
Unidade 3: "Consumismo" - Capítulo 06: "Reações de substituição". - Capítulo 07: "Reações de adição e reações orgânicas". - Capítulo 08: "Polímeros sintéticos".	- Prevenção dos riscos (p1; p6; p7). - Metodologias químicas, que explica a contaminação e os perigos que têm sua origem nas substâncias químicas (p2; p3; p5; p9 e p10). - Planejamento da ação (p4; p7, p10 e p11).
Unidade 4: "Alimentos e aditivos para alimentos" - Capítulo 09: "Introdução à Bioquímica"; - Capítulo 10: "Carboidratos e proteínas".	- Prevenção dos riscos (p1; p6; p7; p11). - Planejamento da ação (p4; p7; p10).
Unidade 5: "Atividade nuclear" - Capítulo 11: "Leis da radioatividade e energia nuclear".	- Planejamento da ação (p4; p7; p10 e p11).

Tabela 3.- Análise de conteúdo do livro de Química da 3ª série. Fonseca (2016c).

Uma substância orgânica é considerada biodegradável quando pode ser decomposta pela ação de microrganismos. A degradação biológica é um processo aeróbio que necessita de quantidades razoáveis de oxigênio para ocorrer. Se uma substância não biodegradável é lançada ao ambiente, seus efeitos tóxicos ou poluentes vão persistir por muito tempo, causando danos que vão se acumulando e se agravando ao longo da cadeia alimentar (Fonseca, 2016c, p. 20).

Os detergentes não-biodegradáveis possuem cadeia muito ramificada como, por exemplo, a do 1, 3, 5, 7 tetrametiloctil-benzenossulfonato de sódio (Figura 1). Cadeias ramificadas não são digeridas pelos microrganismos existentes na água e acabam causando sérios problemas ao meio ambiente.

Já os detergentes biodegradáveis possuem cadeia normal ou linear, como o *p*-dodecilbenzenossulfonato de sódio (Figura 2). Os detergentes de uso doméstico utilizam matéria prima biodegradável em sua formulação.

O sabão em barra (biodegradável), apesar de ter uma formulação diferente da do detergente, como o dodecanoato de sódio (Figura 3), atua da mesma maneira.

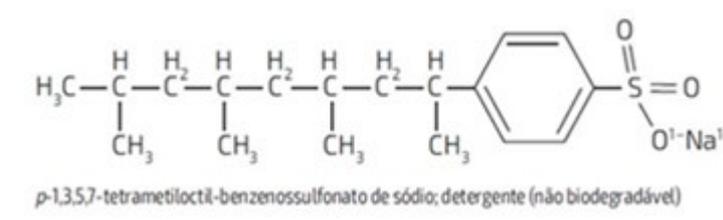


Figura 1.- Molécula do tetrametiloctil-benzenossulfonato de sódio. Fonseca (2016c).

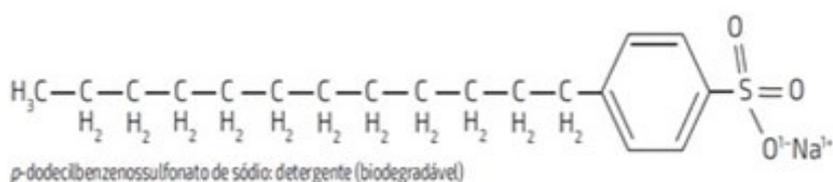


Figura 2.- Molécula do *p*-dodecilbenzenossulfonato de sódio. Fonseca (2016c).

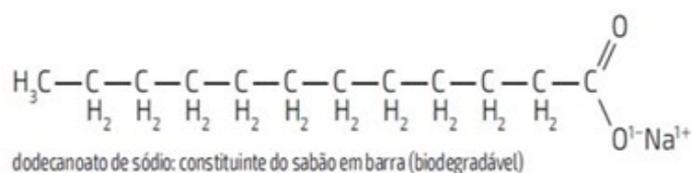


Figura 3.- Molécula do dodecanoato de sódio. Fonseca (2016c).

As matérias-primas utilizadas para fabricar sabão são os óleos e as gorduras que, reagindo com uma base forte como o hidróxido de sódio, NaOH(aq), produzem um sal de ácido carboxílico (os ácidos carboxílicos são ácidos fracos) de cadeia longa, não ramificada. Por serem derivados de óleos e gorduras, todos os sabões são biodegradáveis. Já as matérias-primas utilizadas para fabricar os detergentes são o petróleo e o ácido sulfúrico (um ácido forte). A utilização de matérias-primas potencialmente perigosas na fabricação de detergentes pode gerar resíduos prejudiciais ao ambiente.

O Capítulo 2 traz um texto intitulado: "Longe do Golfo, vazamento de petróleo na Nigéria dura cinquenta anos". Como o próprio título já sugere, é uma denúncia sobre o vazamento de petróleo que há aproximadamente cinco décadas está prejudicando o meio ambiente dessa região. De acordo com essa notícia, já não é possível realizar a pesca, pois não há vida aquática em grande parte dessa região e a expectativa de vida dos moradores é a menor do país (Fonseca, 2016c).

Esse texto não fala de forma direta sobre a QV, porém, traz um contexto que retrata a toxicidade do petróleo mediante a exposição no meio ambiente, mostrando as consequências desse tipo de matéria e energia tão usada pela sociedade. Como já foi dito anteriormente, trata-se de uma fonte não renovável e que uma vez exposta ao meio, causa grandes danos, muitos deles irreparáveis.

O Capítulo 3 define hulha como "carvão mineral resultante da madeira fossilizada que apresenta um alto teor de carbono (cerca de 80%) em relação à madeira recém extraída" (*Ibid*, p.71). A obtenção da hulha dá-se sob duas formas: a destilação seca que necessita de altas temperaturas (aproximadamente 1100°C), dando origem a três fases (sólida, líquida e gasosa) com alto valor comercial. E a destilação fracionada do alcatrão de hulha que fornece cinco frações distintas de interesse comercial (Óleo leve (2%), Óleo médio (12%), Óleo pesado (10%), Óleo de antraceno (25%) e Piche (51%)). Durante essa última, obtém-se uma substância conhecida por nafta de xisto que contém vários compostos nitrogenados e sulfurados que apresentam mau cheiro e tornam sua coloração bastante escura. Seu uso como combustível industrial sem qualquer tratamento prévio pode causar problemas ambientais já que sua queima iria liberar óxidos de nitrogênio e óxidos de enxofre, gases tóxicos e formadores de chuva ácida.

Ainda nesse capítulo, é explicado sobre a destilação da madeira, que, apesar de ser uma fonte renovável, também são necessárias altas temperaturas (aproximadamente 450°C) para sua obtenção. Não existe nada que fale diretamente sobre a QV, porém chama a atenção do uso de altas temperaturas e alto custo financeiro para obtenção dessa matéria-prima, sabendo que a QV no p6 reforça que: A utilização de energia pelos processos químicos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos e deve ser minimizada. Se possível, os processos químicos devem ser conduzidos à temperatura e pressão ambientes.

A Unidade 2 tem início com o Capítulo 4 "Funções oxigenadas e nitrogenadas", fazendo referência a algumas substâncias que apresentam toxicidade, como: o metanol (álcool), os fenóis, o ácido etanoico, as aminas aromáticas e os nitrocompostos dos derivados aromáticos, alertando quanto à periculosidade ao seu uso. Não traz referência direta sobre a QV, mas ressalta a toxicidade das substâncias (Fonseca, 2016c, p. 79).

A Unidade 3 traz um texto inicial que fala sobre o consumismo, destacando o que ele defina como "comprar sem pensar", um dos causadores da devastação ambiental. O problema é que isso de fato está acabando com os recursos naturais do planeta, saturando os aterros sanitários e lixões, tornando-se uma situação insustentável (*Ibid*, p.148). No Capítulo 6, que inicia essa unidade, traz como título Reações de Substituição, mostrando um texto com o tema "Consumismo", relatando essa grande ameaça ao meio ambiente, diante da finitude dos recursos naturais.

Durante todo o Capítulo 6, após algumas reações de substituição, é mostrado um ponto específico denominado: Consumo e produção de substâncias perigosas. Nessa parte são vistas algumas substâncias que os textos que antecedem destacam para realização das reações. Essas reações estudadas utilizam reagentes como o cloro, ácido nítrico e ácido sulfúrico,

que são bastante reativos e potencialmente perigosos ao ser humano e ao meio ambiente. Além disso, tem os alcanos que são derivados do petróleo e sua extração e descarte envolve grande risco à natureza e ao meio ambiente. Os produtos obtidos (organoclorados, nitrocompostos, ácidos sulfônicos) também apresentam grande potencial poluidor (*Ibid*, p. 150).

É evidente que todo o processo obtenção de reagente, de produtos e tratamento dos efluentes deve obedecer a todas as normas de proteção ao meio ambiente e conseqüentemente o impacto causado será reduzido. Assim, o texto traz a ideia da busca de alternativas para a utilização de reagentes e produtos perigosos enfatizando de forma explícita a QV.

A autora ainda reflete e define a QV como o ramo da química que estuda o desenvolvimento de produtos e processos químicos que reduzam ou eliminem o uso e a geração de substâncias perigosas, destacando assim que em vez de tratar a poluição gerada e limitar a exposição a substâncias tóxicas e perigosas, a QV propõe reduzir ou, de preferência, eliminar a poluição e a geração de produtos prejudiciais aos seres humanos e ao meio ambiente. Porém, complementa falando que é uma proposta que abrange não apenas a educação, mas, a pesquisa científica, os governos e as indústrias. Fonseca (2016c, p. 154), ainda propõe algumas ideias que poderiam melhorar a eficiência dos processos, tais como:

- Desenvolvimento de compostos seguros, isto é, com baixa toxicidade;
- Uso de reagentes alternativos, renováveis e biodegradáveis;
- Desenvolvimento de condições reacionais para obter maior rendimento e menor geração de subprodutos;
- Reutilização, sempre que possível, de produtos e subprodutos de processos químicos;
- Redução do consumo de energia desenvolvendo sínteses que possam ser feitas à pressão e temperatura ambientes;
- Desenvolvimento de produtos químicos capazes de promover a degradação inócua de produtos tóxicos, que ainda persistem no meio ambiente;
- Uso da atividade microbiana para catalisar reações químicas (biocatálise ou biossíntese) que diminuam os impactos ambientais gerados pelos processos tradicionais;
- Uso de catalisadores para aumentar a taxa de desenvolvimento e o rendimento das reações químicas, de preferência catalisadores sólidos, para que possam ser mais bem reaproveitados;
- Uso de catalisadores sólidos porosos, ácidos ou básicos, na presença de radiação de micro-ondas nas sínteses orgânicas que envolvam compostos apolares (ou de baixa polaridade), o que permite dispensar o uso de solventes orgânicos como meio reacional;
- Mudança de solventes tóxicos por solventes alternativos (ou por processos que dispensem o uso de solventes);
- Ancoramento de agroquímicos comerciais (pesticidas, herbicidas, etc.).

O Capítulo 7 "Reações de adição e reações orgânicas" traz um texto com o título: "Amar as coisas e usar as pessoas". Esse texto faz uma reflexão sobre o estilo de vida adotada hoje pelas pessoas, em que o consumismo e os padrões impostos pela sociedade têm sido prioridade para a maioria. O problema é que esse novo estilo de vida tem custado muito dinheiro e tomado todo o tempo das pessoas. Em consequência disso, para manter esse padrão, tem-se explorado mais dos recursos naturais com o intuito de produzir coisas novas, além de causar o afastamento das pessoas (*Ibid*, p. 165).

O texto ainda faz referência ao aumento no consumo de carnes, mostrando a questão do sofrimento dos animais, implicando também no desmatamento para o desenvolvimento dessa prática, as queimadas que muitas vezes são usadas como alternativa para o descampe e, por último, o aquecimento global, que é consequência de todo esse processo.

No capítulo 8 "Polímeros e sintéticos", traz o texto inicial intitulado "Hitler, formigas e transições", que fala sobre um assunto polêmico dentro dos movimentos ambientais, que é a relação direta ao tamanho da população mundial com os principais impactos ambientais. Contudo, o texto fala também sobre o químico alemão, Michael Braungart, que faz comparações entre a população mundial e a população das formigas, destacando que a biomassa das formigas é quatro vezes maior que a dos humanos e mesmo assim elas não causam poluição. Concluindo assim, que o erro não está em consumir, nem gerar lixo, o problema é "planejar o que devemos consumir" e o "tipo de lixo que devemos gerar" (Fonseca, 2016c, p. 197).

Esse capítulo tem como foco principal os polímeros e sua variedade, podendo ser destacado o plástico que é um polímero sintético produzido de forma artificial e que leva centenas de anos para sua deposição, trazendo grandes problemas para o meio ambiente. Dentro desses polímeros sintéticos, ainda podemos destacar os Termorrígidos ou termofixos, que não permitem um reprocessamento, ou seja, não é reciclável. Os termoplásticos, que podem ser fundidos por aquecimento e que solidificam com o resfriamento. Esses permitem a reciclagem, porém de forma limitada, devido a sua degradação química.

De forma direta, não se faz referência a QV, porém mostra que o planejamento das ações pode se apresentar como solução para uma redução de grande parte da problemática existente na natureza.

A Unidade 4 fala sobre a variedade e a qualidade dos alimentos, fazendo um questionamento sobre como se ter uma alimentação saudável: Como escolher melhor o que consumimos? No capítulo 9 "Introdução à Bioquímica", mostra um texto intitulado "Preocupações ambientais", que fala sobre alimentos que imaginamos ser saudáveis, no entanto apresenta substâncias tóxicas em sua composição, que são adicionadas durante seu cultivo, comprometendo a sua qualidade. A maçã é o exemplo citado no texto, que por adição de uma substância conhecida por ALAR ou daminozida, um regulador de crescimento que é legalmente aplicado durante o processo de maturação da fruta, é absorvido através seu metabolismo e pode causar câncer (*Ibid*, pp. 220-221).

A Unidade 5, intitulada "Atividade nuclear" apresenta esse tema polêmico como forma introdutória ao Capítulo 11 que tem como tema: "Leis da radioatividade e energia nuclear". O texto faz referência à energia nuclear e aos riscos que ela traz para as pessoas e meio ambiente. Ressalta que os rejeitos provenientes da radioatividade não têm um destino seguro para seu descarte e que a radioatividade compromete a saúde humana (*Ibid*, pp. 260-261). Esta última unidade apresenta de forma implícita discussões inerentes aos princípios da QV, ao dar ênfase a um tipo de energia utilizada que pode trazer uma série de consequências para a humanidade e o meio ambiente.

Todas as unidades trazem problemáticas contextualizadas aos conteúdos específicos da química, com a finalidade de repensar as ações e buscar novas alternativas para solucionar problemas socioambientais, seja no Brasil ou no mundo. Além de incorporar a filosofia dos princípios da QV, também contempla algumas das metas dos dezessete Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, como por exemplo, a responsabilidade de modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente corretos, previsto no ODS 9, meta 9.4 (Unesco, 2015).

### **Conclusões**

A abordagem dos Princípios da Química Verde e sustentabilidade no livro didático de química do ensino médio representou o desafio de defender uma ciência capaz de integrar conhecimentos aparentemente tão distantes como, por exemplo, a economia, eficiência energética, aquecimento global e mudanças climáticas no ensino das ciências, direcionadas à consolidação de uma Ciência para a Sustentabilidade (Vilches e Gil-Pérez, 2013).

Nesse sentido, realizou-se o trabalho minucioso de análise de conteúdo dos livros didáticos de química da última etapa da educação básica, com o intuito de compreender, essencialmente, como os princípios da QV são abordados, tanto de forma implícita e explícita. Tal pretensão refletiu o desejo de tornar realidade no âmbito escolar a visão de desenvolver uma ciência que se preocupa com as problemáticas socioambientais, tanto a nível local, como a nível regional, nacional e mundial. Tem relação direta com ODS 4 (Educação de qualidade), na meta 4.7, que faz referência a que todos os alunos de todo o mundo adquiram os conhecimentos e competências necessárias para promover o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015).

Os livros didáticos analisados atendem a esse compromisso, tanto de forma explícita, como de forma implícita. Em todos os capítulos dos três livros analisados, fizeram-se inferências diretas a problemáticas socioambientais e a relação da química como disciplina que aborda, trata e previne a toxicidade, contemplando os princípios da QV que tratam da prevenção dos riscos, metodologias químicas e planejamentos da ação para a criação, desenvolvimento e aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias tóxicas (Anastas e Warner, 1998).

Em relação ao currículo de química no ensino médio, os livros analisados contemplam o que é preconizado no itinerário formativo das Ciências da Natureza e suas tecnologias, principalmente no que se refere à compreensão do conceito de sustentabilidade, que deve ser passado aos alunos como prática educativa integrada, contínua e permanente, sem que constitua componente curricular específico, mas que esteja presente como tema transversal nas diferentes áreas de conhecimento (Ministério da Educação do Brasil, 2018).

Todo este trabalho analítico-crítico fez “acender” o sinal de alerta em relação ao que está sendo abordado sobre os problemas socioambientais e a contextualização química presente em cada capítulo das obras analisadas. Fica claro que, tanto a preservação dos recursos naturais indispensáveis à vida, como seu aproveitamento sustentável, depende do conhecimento e consciência de seu valor e vulnerabilidade por parte dos profissionais da química em sua prática cotidiana; depende de que esses profissionais sejam capazes de transmiti-los através do ensino. E claro, tudo isto implica, fundamentalmente, uma mudança qualitativa e profunda na prática e ensino das ciências (Cassiano e Echeverría, 2014; Collazo e Ciurana, 2017; Murga-Menoyo, 2015).

Portanto, a significação científica deste trabalho vai além dos resultados aqui apresentados e discutidos. Espera-se que esta experiência se utilize como referência para a aplicação em outros contextos educacionais e que sirva de “lentes” teóricas e metodológicas para se pensar o ensino de química na construção de um futuro sustentável. A perspectiva de estudos futuros caminha na direção de contribuir à ambientalização curricular dos cursos de formação de professores de ciências, para o desenvolvimento e consolidação de uma ciência para a sustentabilidade.

### **Agradecimentos**

À Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia.

### **Referências bibliográficas**

Álvarez-García, O., Sureda-Negre, J., e Comas-Forgas, R. (2018). Evaluación de las competencias ambientales del profesorado de primaria en formación inicial: estudio de caso. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(1), 117-141. doi: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2338>

Anastas, J., e Warner, J. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford: Oxford University Press.

Angrosino, M. (2012). *Etnografía y observación participante en investigación cualitativa*. Madrid: Morata.

Aznar-Minguet, P., Ull, M. A., Martínez-Agut, M. P., e Piñero, A. (2017). Evaluar para transformar: evaluación de la docencia universitaria bajo el prisma de Sostenibilidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(1), 5-27. doi: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2112>

Bardin, L. (2009). *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70.

Bautista-Cerro, M. J., e Díaz González, M. J. (2017). La sostenibilidad en los grados universitarios: Presencia y coherencia. *Teoría de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 29(1), 161-187. doi: <http://dx.doi.org/10.14201/teri.16703>

Bego, A. M., Suart Júnior, J. B., Prado, K. F., e Zuliani, S. R. Q. A. (2019). Qualidade dos Livros Didáticos de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático: análise do tema Estrutura da Matéria e Reações Químicas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), 104-123. Recuperado de [http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen18/REEC\\_18\\_1\\_6\\_ex1482.pdf](http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen18/REEC_18_1_6_ex1482.pdf)

Boff, L. (2006). *Desafios ecológicos do fim do milênio*. São Paulo: Folha de São Paulo.

Botto, A. V., e Torres, L. D. S. (2018). Sustitución de una práctica de Laboratorio con enfoque a Química Verde como herramienta para la reducción de residuos peligrosos. *Educación Química*, 29(1), 110-120. doi: <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63809>

Brito, A. C. F., e Pontes, D. L. (2009). *A Evolução da Indústria Química*. Indústria Química e Sociedade, Parte II, aula 06, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Recuperado de <https://bit.ly/2m5HfA0>

Brundtland, G. H. (1989). *Nuestro futuro común*. Madrid: Editorial Alianza.

Bybee, R. W. (1991). Planet Earth in Crisis: How Should Science Educators Respond? *The American Biology Teacher*, 53(3), 146-153. doi: [10.2307/4449248](http://dx.doi.org/10.2307/4449248)

Calero Llinares, M., Mayoral García-Berlanga, O., Ull, M. A. e Vilches Peña, A. (2019). La educación para la sostenibilidad en la formación del profesorado de ciencias experimentales en Secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, 37(1), 157-175. doi: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2605>

Cassiano, K. F. D., e Echeverría, A. R. (2014). Abordagem Ambiental em Livros Didáticos de Química: Princípios da Carta de Belgrado. *Química Nova*, 36(3), 220-230. doi: <http://dx.doi.org/10.5935/0104-8899.20140025>

Collazo, L. M., e Ciurana, A. M. G. (2017). Avanzar en la educación para la sostenibilidad. Combinación de metodologías para trabajar el pensamiento crítico y autónomo, la reflexión y la capacidad de transformación del sistema. *Revista Iberoamericana de Educación*, 73(1), 131-154. doi: <https://doi.org/10.35362/rie730295>

Correa, A. G., e Zuin, V. G. (2009). *Química Verde: Fundamentos e aplicações*. São Carlos: EDUFSCar.

Cortes, L. P., e Fernandez, C. (2016). A educação ambiental na formação de professores de química: estudo diagnóstico e representações sociais. *Química Nova*, 39(6), 748-756. doi: <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20160044>

Cruz, F. N., Borba, G. L., e Abreu, L. R. D. (2005). *Ciências da natureza e realidade: interdisciplinar*. Aula 09. 2 ed. Natal: EDUFRRN Editora da UFRN. Recuperado de <https://bit.ly/2kppWJR>

Denzin, N. K., e Lincoln, Y. S. (2012). *Manual de investigación cualitativa*. Barcelona: Gedisa.

Dieste, B., Coma, T., e Blasco-Serrano, A. C. (2019). Inclusión de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el Currículum de Educación Primaria y Secundaria en Escuelas Rurales de Zaragoza. *Revista Internacional de Educación para la Justicia Social*, 8(1), 97-115. doi: <http://dx.doi.org/10.15366/riejs2019.8.1.006>

Eilks, I., e Rauch, F. (2012). Sustainable development and Green Chemistry in Chemistry education. *Chemical Education Research and Practice*, 13(2), 57-58. doi: <http://doi.org/10.1039/C2RP90003C>

Fonseca, M. R. M. (2016a). *Química: ensino médio*. 2ª Ed. Vol.1. São Paulo: Ática.

Fonseca, M. R. M. (2016b). *Química: ensino médio*. 2ª Ed. Vol. 2. São Paulo: Ática.

Fonseca, M. R. M. (2016c). *Química: ensino médio*. 2ª Ed. Vol. 3. São Paulo: Ática.

Garritz, A. (2009). Química verde y reducción de riesgos. *Educación Química*, 20(4), 394-397. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30041-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30041-7)

Garritz, A. (2010). Indagación: las habilidades para desarrollar y promover el aprendizaje. *Educación Química*, 21(2), 106-110. doi: [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30159-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30159-9)

Garritz, A. (2011). La celebración del año internacional de la química: Las contribuciones de la Química al bienestar de la humanidad. *Educación Química*, 22(1), 2-7. Recuperado de <https://bit.ly/35VeTeJ>

González, X. V., Benavides, C. B., Marín, G. P., León, R. S., Torres, L. D, S., e Corrales, J. A. R. (2015). *Química experimental: un enfoque hacia la química verde*. Madrid, España: Editorial Pearson Educación SA.

Kirchhoff, M. M. (2007). Chemistry Education: Experiments Worth Running. *Journal of Chemical Education*, 84(7), 1090-1091. doi: <https://doi.org/10.1021/ed084p1090>

Krippendorff, K. (1997). *Metodología de análisis de contenido: teoría y práctica*. Barcelona: Paidós Comunicación.

Lenardão, E. J., Freitag, R. A., Dabdoub, M. J., Batista, A. C. F. e Silveira, C. C. (2003). Os 12 princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. *Química Nova*, 26(1), 123-129. doi: <http://doi.org/10.1590/S0100-40422003000100020>

Machado, A. A. S. (2011). Da gênese ao ensino da química verde. *Química Nova*, 34(3). 535-543. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422011000300029>

Marques, C. A., e Machado, A. S. C. (2018). Una visión sobre propuestas de enseñanza de la Química Verde. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 19-43. Recuperado de [http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen17/REEC\\_17\\_1\\_2\\_ex1093.pdf](http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen17/REEC_17_1_2_ex1093.pdf)

Mascarell Borreda, L., e Vilches, A. P. (2016) Química Verde y Sostenibilidad en la educación en ciencias en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(2), 25-42. doi: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1688>

Mestres, R. (2010). *Química Sostenible*. Madrid: Editorial Síntesis.

Ministério da Educação do Brasil (2013). Diretrizes Curriculares Nacionais. Brasília: Secretaria de Educação Básica. Recuperado de <https://bit.ly/37xVJvn>

Ministério da Educação do Brasil (2018). Base Nacional Comum Curricular. Brasília: Secretaria de Educação Básica. Recuperado de <https://bit.ly/2RYvRIC>

Morin, E. (2009). *La educación ambiental: una genuina educación para el desarrollo sostenible*. Madrid: Cátedra UNESCO de Educación a Distancia (UNED)

Murga-Menoyo, M. A. (2015). Competencias para el desarrollo sostenible: las capacidades, actitudes y valores meta de la educación en el marco de la Agenda global post-2015. *Foro de Educación*, 13(19), 55-83. Recuperado de <https://forodeeducacion.com/ojs/index.php/fde/article/view/374>

ONU (2015). *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Agenda 2030)*. Recuperado de <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>

Pitanga, A. F. (2016). Crise da modernidade, educação ambiental, educação para o desenvolvimento sustentável e educação em química verde: (re)pensando paradigmas. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 18(3), 141-159. doi: <http://doi.org/10.1590/1983-21172016180307>

Prsybyciem, M. M., Silveira, R. M. C. F., Sauer, E. e Zanotto, R. L. (2014). Educação Ambiental e a Sustentabilidade: concepções e práticas de professores de Química do ensino médio. *Espacios*, 35(6). Recuperado de <https://bit.ly/2U2NBJ4>

Rezende, C. M. (2011). Ano Internacional da Química. *Química Nova*, 34(1). doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000100001>

Sampieri, R. H., Collado, C. F.. e Baptista-Lucio, P. (2015). *Metodologia da Pesquisa*. 5. ed. México: Mc Graw Hill.

Silva, T. T. (2016). *Documentos de identidade: uma introdução às teorias do currículo*. 3 Ed. Belo Horizonte: Autêntica.

Unesco (2015). *Education 2030. Incheon Declaration and Framework for action for implementation of SDG 4*. Paris: UNESCO.

Vilches, A., e Gil-Pérez, D. (2013). Ciencia de la Sostenibilidad: Un nuevo campo de conocimientos al que la Química y la Educación Química están contribuyendo. *Educación Química*, 24(2), 199-206. doi: [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72463-7](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72463-7)