



OS MODELOS DE ABORDAGEM DA QUÍMICA VERDE NO ENSINO DE QUÍMICA

Marilei Casturina Mendes Sandri¹ y Ourides Santin Filho²

Resumo

A Química Verde (QV) é um tema crescente no ensino de Química. Todavia, seu ensino pode tender aos vieses técnico/instrumental ou crítico, a depender da forma como é inserida nos currículos e na didática da sala de aula. Diante disso, este trabalho buscou construir possíveis modelos de abordagem da Química Verde no ensino de Química considerando as tendências acima mencionadas, sendo que o Modelo 1 está inteiramente associado à tendência técnica/instrumental, o Modelo 2 consegue trazer elementos mais críticos do ensino da QV e o Modelo 3, se insere inteiramente numa proposta crítica da QV. Utilizando-se dos modelos concebidos, buscou-se analisar 8 (oito) propostas didáticas de licenciandos em Química de uma instituição de ensino superior brasileira, a fim de identificar o modelo adotado pelos acadêmicos para inserir a QV nas aulas voltadas ao Ensino Médio. Os resultados demonstram que 4 (quatro) propostas mantiveram-se inteiramente sob o Modelo 1; 2 (duas) conseguiram atingir o Modelo 2 e as outras duas mesclaram elementos dos Modelos 2 e 3. Depreende-se, portanto, que a inserção da QV na formação de professores deve considerar os diferentes modelos de abordagem dessa temática para assim nortear propostas críticas de aplicação no Ensino Médio.

Palavras-chave

Química Verde; propostas didáticas; ensino de química

The Green Chemistry Approach Models in Chemistry Teaching

Abstract

Green Chemistry (GC) is a growing subject in Chemistry teaching. However, its teaching may tend to technical / instrumental or critical bias, depending on how is embedded in classroom curriculum and didactics. Therefore, this work sought to build possible models of approach to Green Chemistry in Chemistry teaching, considering the aforementioned trends, with Model 1 being entirely associated with technical / instrumental tendency, Model 2 is able to bring more critical elements of GC teaching and Model 3 is entirely within a critical GC proposal. Using the designed models, we tried to analyse 8 (eight) didactic proposals of undergraduate Chemistry teaching students of a Brazilian higher education institution, in order to identify the model adopted by the academics to insert the GC in the classes directed to High School. The results show that 4 (four) proposals remained entirely under Model 1; 2 (two) were able to reach Model 2 and the other two merged elements of Models 2 and 3. It is understood that the insertion of GC in teacher training must consider the different models of approach to this theme in order to guide critical proposals for application in High School.

Keyword

Green Chemistry; teaching proposals; chemistry teaching

¹ Universidade Estadual de Ponta Grossa – Paraná – Brasil

² Universidade Estadual de Maringá – Paraná – Brasil

Introdução

Em 1998, Anastas e Warner apresentaram ao mundo o conceito de Química Verde (QV), que pode ser definido como “o desenho, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias nocivas à saúde e ao ambiente (ANASTAS; WARNER, 1998, p.11)”. Essa definição se apoia sobre doze princípios, também apresentados por esses autores e elencados por Lenardão (2003), a saber: 1. Prevenção; 2. Economia de átomos; 3. Síntese de produtos menos perigosos. 4. Desenho de produtos seguros; 5. Uso de solventes e auxiliares seguros; 6. Eficiência energética; 7. Uso de matérias-primas renováveis; 8. Evitar a formação de derivados; 9. Catálise; 10. Desenho para a degradação; 11. Análise em tempo real; 12. Química intrinsecamente segura.

Segundo Anastas e Kirchhoff (2002), estudantes de todos os níveis devem ser introduzidos à filosofia e à prática da QV. Outros autores também evocam a importância da inserção da QV nos currículos de Química de forma a aprimorar a formação de profissionais e as atividades químicas para a sustentabilidade (MARQUES *et al.*, 2013 MACHADO, 2014; ZUIN *et al.*, 2015).

Zuin (2011) afirma que há duas vertentes na Química Verde. Segundo a autora:

Em relação ao desenvolvimento sustentável e à Educação, há, na Química Verde, uma concepção que defende, quase exclusivamente por meio de “práticas e técnicas ambientalmente corretas”, injetar comportamentos nos estudantes. Já outra concepção apregoa que por meio da produção ressignificada – baseada em novas racionalidades que levem em conta a sustentabilidade socioambiental e suas implicações éticas –, de aparatos científicos e tecnológicos menos impactantes aos seres vivos e ao meio, há a possibilidade de se engendrar processos formativos críticos e emancipatórios, que solicitam a participação efetiva do indivíduo, que pensa e sente, para a construção do bem coletivo (ZUIN, 2011, p. 78).

Neste trabalho, tendo por base a asserção de Zuin, a primeira vertente da QV foi chamada de técnica ou instrumental e a segunda, de vertente crítica. Na primeira, conforme já apontado por Zuin (2011), a QV pressupõe apenas um conhecimento técnico/instrumental que permite tornar os processos e as atividades químicas menos impactantes ao ambiente e igualmente eficientes e lucrativas. Na segunda concepção a QV é reconhecida por fornecer novas bases racionais para o desempenho das atividades químicas, nos mais diferentes âmbitos de sua abrangência, pois sua abordagem colabora para um novo paradigma no âmbito da Química.

De forma pragmática, no campo das atividades químicas, a primeira vertente concerne basicamente ao emprego dos princípios como ferramenta para a incorporação de práticas mais verdes, compreendidas como ambientalmente mais corretas, que mantenham ou otimizem os ganhos econômicos, sem, contudo, questionar a própria noção de ambiente, de desenvolvimento e principalmente de relação sociedade-natureza.

Dessa forma, a racionalidade que a sustenta continua a ser a Racionalidade Técnica ou Instrumental, a qual, segundo Barbosa (1998), busca oferecer soluções para problemas por meio de conhecimentos preestabelecidos, de maneira mecânica e sem avaliar as situações vivenciadas ou as consequências das ações.

No campo do ensino, essa vertente pode se caracterizar pela inclusão dos princípios às atividades experimentais ou abordagens superficiais que não questionam de maneira aprofundada as relações da Química com o ambiente e a sociedade. Essa visão restritiva

não permite que o ensino de QV proporcione uma educação ambiental crítica, uma vez que tais abordagens são técnicas e a visão de meio ambiente restringe-se aos aspectos naturais. O ambiente, nessa perspectiva, embora não seja tratado como mera externalidade, não abrange toda sua complexidade, imputando-o dimensões demasiadamente importantes.

É importante ponderar que o aspecto técnico da QV tem sua inegável importância, uma vez que, conforme Leff (2012, p. 133), as questões ambientais, frente a sua imensa complexidade, exigem além da incorporação de normas ecológicas ao processo econômico, “a criação de novas técnicas para controlar os efeitos contaminantes e dissolver as externalidades socioambientais geradas pela lógica do capital.” Portanto, faz parte do enfrentamento dos desafios da sustentabilidade o desenvolvimento de técnicas capazes de mitigar ou eliminar efeitos nocivos de contaminantes para a natureza e a saúde humana. Diante disso, esta faceta da QV deve ser valorizada, sem desconsiderar, porém, suas limitações (THORNTON, 2000; MARQUES; MACHADO, 2014).

Todavia, embora a incorporação de medidas práticas seja fundamental, e talvez uma das maiores contribuições da QV, uma vez que, por meio de seus princípios oferece um roteiro possível e seguro para o melhoramento químico, ecológico e econômico dos processos químicos, entendemos que a prática e o ensino da QV não devem se encerrar apenas nesses aspectos, mas deve tornar-se abrangente a ponto de atingir o que Zuin denominou de novas racionalidades (Zuin, 2011, p. 78).

Sob racionalidades mais críticas, a dimensão técnica da QV mantém sua imprescindível importância, mas agora como um capital científico-tecnológico que pode e deve ser empregado nas medidas práticas de prevenção e cuidados ambientais, pois, como chamam atenção Machado (2011) e Zuin e colaboradores (2015), o foco da QV não está no gerenciamento e tratamento de resíduos, ou ainda na remediação ambiental. Seu foco principal está na ação preventiva, que pode ter como uma das suas consequências benéficas a diminuição da geração de resíduos. Entretanto, a ideia de redução associada a QV não corresponde apenas aos resíduos, como bem salientam Ferreira, Rocha e Silva (2014), mas também aos riscos, à toxicidade, aos custos, ao consumo excessivo de energia, etc.

Além do mais, nesta vertente – crítica –, a ideia de ambiente considera a relação sociedade-natureza e toda a sua complexidade, bem como a concepção de sustentabilidade é revista, por considerar a imbricação de múltiplas dimensões, sem a prevalência absoluta da dimensão econômica.

Considera-se ainda que a vertente crítica da QV representa uma mudança de paradigma dentro do seu próprio âmbito, uma vez que a vertente técnica da QV ainda tem filiações filosóficas e epistemológicas presas ao cartesianismo, o que a leva a tratar das questões ambientais e econômicas de maneira fragmentada e desconexa em relação às complexidades sociais, políticas, culturais e históricas, e alimentar crenças acerca do papel da ciência e da tecnologia como corretoras absolutas dos problemas de ordem socioambiental.

Portanto, a vertente crítica tem uma postura proativa e ética (MARQUES; MACHADO, 2014) de enfrentamento dos problemas relacionados às atividades químicas porque considera suas consequências socioambientais e consegue dimensionar a abrangência da sustentabilidade. Conforme destacam Marques *et al.* (2007)

O que precisa ser perseguido é uma atuação preventiva que atue na origem, em processos de emissão e descarte, aumentando assim a eficiência e a segurança nos sistemas, como defende a QV, sem com isso reduzir a solução dos problemas a uma dimensão puramente técnica (MARQUES *et al.*, 2007, p. 2046).

No que concerne ao ensino da QV sob a égide dessa vertente, temos a superação da mera inserção dos seus princípios às atividades experimentais e em momentos pontuais, e passamos a ter sua forte vinculação com as discussões que envolvem a ciência, a tecnologia, a sociedade e o ambiente, oportunizando assim uma educação ambiental crítica e uma formação mais voltada à cidadania.

É importante reiterar neste momento que as vertentes não são estanques e podem dialogar e rever-se continuamente, e, embora a dimensão técnica possa ser praticada sem se relacionar com a vertente mais crítica, esta por sua vez, é dependente e necessariamente relacionada à primeira conferindo-lhe, entretanto, as reflexões e os aportes éticos e filosóficos que lhe faltam, quando isolada.

Tendo sido exposto o que definimos aqui como a vertente técnica/instrumental e a vertente crítica da QV, este trabalho buscará apresentar 3 (três) modelos de abordagem da Química Verde, partindo de um modelo inteiramente vinculado à primeira vertente, em direção a um modelo mais abrangente, concatenado com a segunda vertente.

Ademais, após a apresentação desse construto, este será utilizado para analisar as propostas didáticas elaboradas por licenciandos em Química, a fim de identificar os modelos predominantes e as tendências às referidas vertentes.

Metodologia

Este trabalho faz parte de uma pesquisa-ação realizada durante um processo de doutoramento, na qual buscou-se inserir a QV e o enfoque CTSA na formação de licenciandos em Química de uma instituição de ensino superior (IES) brasileira, com vistas a desenvolver junto a esses sujeitos conhecimentos conceituais, procedimentais e atitudinais referentes às temáticas mencionadas.

Este artigo traz apenas a análise das aquisições procedimentais dos sujeitos da pesquisa, investigadas por meio da avaliação de propostas didáticas elaboradas pelos acadêmicos após a realização de uma sequência didática (SD) de 12 aulas que versou sobre Química Verde e Sustentabilidade e foi desenvolvida na disciplina de Instrumentação para o Ensino de Química II.

Fizeram parte desse estudo 14 licenciandos regularmente matriculados e assíduos na disciplina. Os acadêmicos, em dupla ou individualmente, elaboraram propostas didáticas para inserção da QV em aulas para o ensino médio. Ao final foram analisadas 8 (oito) propostas didáticas.

A fim de investigar de que forma e com que profundidade os acadêmicos conseguiram inserir a QV em suas aulas, elaborou-se três modelos de abordagem da QV, propostos com base no trabalho de Burmeister, Rauch e Eilks (2012), os quais, ao discutirem sobre a educação Química e Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS), sugerem quatro modelos através dos quais é possível implementar a EDS nas aulas de Química, seja em nível da Educação Básica ou Ensino Superior, envolvendo a abordagem da QV.

No primeiro modelo proposto por esses autores, leva-se em conta apenas os princípios da QV aplicados em aulas experimentais; no segundo modelo a Sustentabilidade e a QV fazem parte do currículo e, por consequência, permeiam o conteúdo químico; no terceiro, a Sustentabilidade é trabalhada sob a perspectiva de questões socio científicas controversas e visa estimular a participação social em discussões que envolvem decisões científicas. No

modelo 4, toda a educação (não somente química) está voltada para a Sustentabilidade e sua adoção requer um envolvimento institucional.

Tomando esse trabalho como apoio, buscou-se identificar aspectos apontados pelos autores nos três primeiros modelos e a partir destes construir um instrumento orientador que serviu de apoio para a análise das propostas didáticas.

Resultados e Discussão

Enquanto Burmeister, Rauch e Eilks (2012) mantiveram seu foco em apontar como os diferentes modelos poderiam contribuir para se atingir uma condição de Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS), nosso foco foi identificar e apontar quais modelos melhor se alinham com a perspectiva crítica da QV e podem, assim, contribuir para atingir os objetivos mais amplos da educação, e em particular da educação científica a saber: a Alfabetização Científica e formação para a cidadania.

Os modelos construídos, apresentados no Quadro 1 a, seguir, vão de 1 a 3, partindo do mais simples para o mais abrangente e são estruturados de acordo com as seguintes dimensões: a) a abordagem didática; b) a postura do professor; c) o momento e frequência da aplicação; d) os objetivos educacionais. Essa organização facilita a análise de propostas didáticas, ao mesmo tempo, em que torna claro que modelos mais elaborados de abordagem da QV requerem, necessariamente, uma mudança pedagógica e até mesmo epistemológica do professor.

MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
Quanto à abordagem didática		
a) Adota princípios da QV na elaboração e aplicação de aulas experimentais; b) Valoriza principalmente os princípios de redução de reagentes, gasto energético e gestão de resíduos, sem, contudo, avaliar sistematicamente a verdura química do experimento; c) Preocupa-se em praticar uma Química segura. d) Preocupa-se com o gerenciamento de resíduos.	a) Adota princípios da QV na elaboração e aplicação de aulas experimentais e teóricas; b) Busca avaliar sistematicamente a verdura química dos experimentos por meio de métricas holísticas, a fim de realizar melhores escolhas e proporcionar melhorias que atendam aos princípios da QV; c) Envolve os alunos na discussão e na escolha de produtos, processos ou procedimentos com maior verdura química; d) Insere a análise quantitativa da verdura dos processos através do cálculo de métricas de massa como a Eficiência Atômica (EA), por exemplo, tanto nas aulas experimentais quanto teóricas; e) Instrui e incentiva os alunos a praticarem uma Química segura e o gerenciamento de resíduos; f) Contextualiza o conteúdo através da abordagem de tecnologias e produtos considerados verdes; g) Relaciona a QV ao Desenvolvimento Sustentável e/ou somente aos benefícios econômicos e ecológicos; h) Promove a conscientização dos alunos em relação às boas práticas químicas e suas implicações sociais e ambientais; i) Realiza abordagens esporádicas da QV e não necessariamente conexas aos conteúdos de aprendizagem, em disciplinas específicas ou na realização de projetos de curta e média duração.	a); b); c); d) - <i>Idem</i> ao Modelo 2; e) Fundamenta a prática da Química intrinsecamente segura, da prevenção e do gerenciamento de resíduos sobre o Princípio de Prevenção e o Paradigma Ecológico; f) Considera e aborda o contexto histórico do qual emergiu a QV, inter-relacionando a outros movimentos de enfrentamento dos problemas socioambientais em face do desenvolvimento científico tecnológico; g) Aborda a QV de forma transversal aos conteúdos de aprendizagem e as disciplinas do currículo, numa perspectiva contextualizada considerando as relações CTSA e os aspectos éticos econômicos, políticos e culturais; h) Atrela a QV à Sustentabilidade Socioambiental com vistas a promover a Educação Ambiental e em última instância a Alfabetização Científica, que fundamenta a cidadania participativa na sociedade científico-tecnológica atual; i) Reconhece e aponta as limitações da QV e da Sustentabilidade apoiado na Lei Limite da Termodinâmica; f) Trabalha a QV sob a perspectiva de novos paradigmas e da ética nas atividades químicas.

Quadro 1. Modelos de abordagem da QV

Quanto à postura do professor		
<p>a) Conhece seus princípios e os emprega em aulas laboratoriais; b) Menciona ou exemplifica algum princípio posto em prática ou algum benefício da QV em comparação com as práticas convencionais de Química; c) Pode apresentar posturas centralizadoras, pois este modelo não exige a mudança de alinhamento pedagógico; d) Não encaminha abordagens contextualizadas que envolvam a QV; e) Não envolve os alunos em discussões referentes a QV, somente os estimula a colocar em prática alguns de seus princípios.</p>	<p>a) É dialógico e disposto a envolver os alunos nos processos de análise e decisões referentes a QV; b) Estimula a pesquisa e a comunicação dos saberes dos alunos; c) Busca tornar os alunos conscientes da prática da QV e tornar esses princípios presentes tanto nas aulas experimentais quanto teóricas. d) Promove contextualização crítica que permite aos alunos perceber as relações da Química com as questões sociais, ambientais e econômicas.</p>	<p>a) Possui um conhecimento específico e pedagógico que permite abertura à participação ampla dos alunos; b) Conhece e se dispõe a promover a contextualização por meio de situações que envolvem a Ciência, a Tecnologia, a Sociedade e Ambiente e problematiza as relações da Química com cada uma dessas vertentes; c) Assume uma abordagem interdisciplinar e está familiarizado com a dimensão crítica da QV e da Educação Ambiental; d) Deve ter um pensamento sistêmico sobre os problemas socioambientais relacionados a Ciência e Tecnologia; e) Estimula a tomada de consciência e de decisão frente a problemas socioambientais ou socio científicos que envolvem conhecimentos químicos, e com isso favorece a participação social.</p>
Quanto ao momento e a frequência da abordagem		
<p>a) Atrela a QV prioritariamente à experimentação; b) Realiza abordagens pontuais do tema QV, como em palestras, vídeos e minicursos, desvinculados dos conteúdos de aprendizagem.</p>	<p>a) A QV é abordada nas aulas teóricas e experimentais; b) A abordagem da QV faz parte dos conteúdos de aprendizagem (conceituais e/ou procedimentais).</p>	<p>a) A QV é abordada nas aulas teóricas e experimentais de forma transversal; b) A abordagem da QV é vinculada os conteúdos de aprendizagem (conceitual, procedimental e atitudinal).</p>
Quanto aos objetivos educacionais		
<p>a) Praticar a QV; b) Divulgar ou informar sobre a QV.</p>	<p>a) Inserir a QV no ensino de Química; b) Melhorar a percepção social da Química por meio da QV.</p>	<p>a) Estimular a prática consciente, intencional e crítica da QV; b) Promover a Educação Ambiental e a Educação para a Sustentabilidade Socioambiental.</p>

Fonte: Elaborado pelos autores

Burmeister, Rauch e Eilks (2012, p. 65) esclarecem que “os modelos podem ser considerados como as distinções hierárquicas com os modelos posteriores, incluindo elementos dos modelos anteriores” (tradução nossa), ou seja, o modelo posterior é sempre mais abrangente que o anterior e o sobrepõe, podendo manter e ampliar algumas características de seu antecessor. Dessa forma, todos os modelos têm suas vantagens e importância para tornar o ensino de Química, e da QV em particular, concatenados com os objetivos mais amplos da educação. Todavia, esses modelos vão tornando-se mais amplos, complexos e coerentes com essa intenção, à medida que avançamos do Modelo 1 para o Modelo 3. É possível, todavia, que uma proposta mescle elementos dos diferentes modelos.

Como vimos no Modelo 1, os pressupostos da QV são abordados somente sob a perspectiva da experimentação, sendo que o professor apenas busca colocar em prática tais princípios, prioritariamente aqueles de caráter mais qualitativos, como redução na quantidade de reagentes e resíduos – microescala –, sem contudo realizar análises sistemáticas e criteriosas da verdura química e tampouco tecer considerações ou discussões com os alunos sobre esse tema. Costa, Ribeiro e Machado (2012) consideram que a realização de experimentos em microescala é uma forma de prevenir a geração de

resíduos, auxiliando no cumprimento dos princípios da QV, mas deixam claro que apenas essas medidas não são suficientes.

Portanto, tal como nos falam Burmeister, Rauch e Eilks (2012), adotar a abordagem sob o Modelo 1 representa o caminho mais simples, porque não requer alterações curriculares, nem mudanças na pedagogia subjacente ao ensino de Química, bastando mudanças em relação aos produtos químicos empregados, equipamento experimental e procedimentos. Esses autores reconhecem que esta não deixa de ser uma forma de inserir esses pressupostos no ensino de Química e que apresenta potencialidades, ainda que restritas, para se atingir uma Educação com vistas à Sustentabilidade.

Zandonai *et al.* (2014) afirmam que, de modo geral nas instituições brasileiras, a QV vem sendo introduzida principalmente na forma de experimentos e consideram que os roteiros verdes cumprem um papel importante desde que a experimentação esteja em consonância com perspectivas epistemológicas atuais e as pesquisas educacionais recentes.

É necessário considerar que restringir a abordagem da QV à experimentação limita fortemente sua inserção e difusão na Educação Básica, haja posto que a própria experimentação tem pouco alcance nesse nível de ensino, no Brasil.

Conforme apontam os estudiosos sobre o papel da experimentação no ensino de ciências (GALIAZZI, *et al.*, 2001; GALIAZZI; GONÇALVES, 2004; GONÇALVES; MARQUES, 2006; BORGES, 2002; GIORDAN, 1999), apesar da grande crença na experimentação como meio de atingir um ensino mais eficaz em ciências, e detidamente em Química, sua prática ainda é pouco frequente nesse nível de ensino por razões variadas que vão desde as dificuldades de infraestrutura até o despreparo de professores para desenvolver aulas dessa natureza.

Como principal diferencial do Modelo 2 em relação ao Modelo 1, temos a inserção da QV para além do ambiente laboratorial e da experimentação, passando a fazer parte do tratamento teórico de conteúdos químicos e a adoção de métricas de massa e holísticas na análise dos procedimentos químicos. Para essa abordagem, na qual se faz necessário o envolvimento dos alunos na análise e tomada de decisão frente a processos com vistas a obtenção de maior verdura química, o professor necessita ser dialógico e permitir maior abertura à participação dos alunos. Isso implica também a busca por uma contextualização mais crítica e que possibilite articular a Química com contextos mais amplos. Nota-se nesse modelo, portanto, uma expansão considerável das possibilidades de tornar a QV uma temática presente nos diversos momentos formativos Dos indivíduos.

No entanto, para isso é importante que os professores se deem conta que os princípios da Química Verde transitam por muitos conteúdos químicos, seja na Educação Básica ou Superior, e isso torna possível abordá-los no desenvolvimento de conceitos em sala de aula. A exemplo disso podemos tomar o conceito de incorporação de átomos ao produto principal, relacionado ao segundo princípio (P2), e que pode, sem grandes mudanças no planejamento das aulas, passar a fazer parte do conteúdo de Estequiometria, estendendo-se inclusive para o tratamento matemático que levará aos cálculos de eficiência atômica e Fator E (MACHADO, 2014). Importa nesse intento não apenas inserir novos conceitos e novos cálculos, mas principalmente romper com a visão ingênua de reações ideais e invariavelmente de alta eficiência e deslindar a deficiência e a parcialidade da análise exclusiva do rendimento reacional, que olha exclusivamente para o produto e ignora todas as perdas e os resíduos gerados.

Ainda abordando o Princípio 2, um tópico frequentemente abordado em Estequiometria ganha um novo olhar. Trata-se do reagente em excesso. Ensinado exaustivamente como uma necessidade incontornável em reações reversíveis, quando se deseja aumentar a obtenção do produto principal, e praticado corriqueiramente nas sínteses laboratoriais, o assunto dificilmente é tratado sob a perspectiva da QV, com vistas a avaliar o percentual de excesso em relação ao limitante e a geração de resíduos disso decorrente (SANDRI, 2019). Em um estudo realizado por Ribeiro e Machado (2012), por meio da construção de uma matriz verde, os autores avaliam os efeitos da diminuição da porcentagem de reagente em excesso – acetilacetona – na síntese do tris (acetilacetonato) de ferro (III), verificando ser possível reduzir significativamente a quantidade do excesso comparado com o prescrito na literatura, sem perdas para a eficiência atômica. Isso denota a importância de estimular exercícios e investigações semelhantes, juntamente com os alunos, a fim de conferir maior veracidade química aos processos e desenvolver a capacidade crítica, de pesquisa e de tomada de decisão.

Há certamente outros conteúdos químicos que podem, com certa facilidade, emergir dos princípios da QV ou vice-versa, pois esta é uma via de mão dupla. Sem estender-se em demasiado, ainda é possível citar a catálise, seus diferentes tipos e seus impactos na perspectiva da QV (ANASTAS *et al.* 2000) e os processos de derivatização associados a grupos protetores do anel benzênico. A contextualização com novas tecnologias que visam conferir maior sustentabilidade aos processos de transformação da matéria também é bem vista dentro das tentativas de tornar a QV um componente presente em sala de aula.

No Modelo 3, considerado o mais abrangente, a abordagem didática está baseada em novas racionalidades paradigmáticas, como o Paradigma Ecológico (THORNTON, 2000) e da Complexidade (MORIN, MOTTA, CIURANA, 2004), ao esforçar-se para não trabalhar um conteúdo de maneira segmentada, mas buscando tanto quanto possível, articular os conhecimentos químicos com questões científico-tecnológicas, sociais, ambientais, históricas, políticas e econômicas. Ademais, apoia-se em uma outra base epistemológica ao questionar o papel da ciência e da tecnologia para os avanços sociais e ambientais e ao reconhecer as limitações científicas, entre elas, da própria QV. Com base nisso, o professor que adota esse modelo, precisa estar alinhado com correntes pedagógicas críticas, construtivistas ou progressistas, e que sejam capazes de romper com o sectarismo do ensino tradicional. Esse modelo, portanto, exige uma transformação profunda na prática de ensino em Química e pode ser considerado um ideal a ser perseguido.

Considerando as características descritas acima para cada um dos modelos, apresentamos a seguir a análise das propostas didáticas elaboradas pelos acadêmicos participantes dessa pesquisa. O Quadro 2, a seguir, apresenta as características identificadas nas propostas para as dimensões definidas no Quadro 1 – abordagem didática, postura do professor, momento da abordagem e objetivo educacional – bem como define o(s) modelo(s) predominante(s) em cada proposta.

Propostas didáticas	Quanto a abordagem didática	Quanto ao professor	Quanto ao momento	Quanto aos objetivos	Modelos predominante
P1	M1: todos; M2: --- M3: ---	M1: a); c); d) e) M2: --- M3: ---	Experimento	M1: a) b) M2:--- M3:---	M1

Quadro 2. Análise das propostas didáticas (P) de acordo com as dimensões dos Modelos (M) de abordagem da QV.

P2	M1: todos; M2:--- M3:---	M1: a); c) M2: d) M3:---	Experimento	M1: a) M2:--- M3:---	M1
P3	M1) todos; M2: a); c); f); g); h); M3: g)	M1:---- M2: a); c); d) M3: ----	Experimento e conteúdo	M1: --- M2: a);b) M3:---	M2
P4	M1: todos; M2:--- M3: ---	M1: a); c); d); e) M2: --- M3:---	Experimento	M1) a);b) M2:--- M3:---	M1
P5	M1: todos; M2: a); c); g); M3: i);	M1:---- M2: a); c); d) M3: b)	Experimento e contextualização	M1--- M2: a) M3:---	M2
P6	M1) todos; M2: a); c); f); h); M3: g)	M1: d) M2: a); c) M3: ---	Experimento e conteúdo	M1: --- M2:b) M3:---	M2
P7	M1: todos M3: --- M3: ---	M1: d); a) M2: a) M3: ---	Experimento	M1:a) M2: --- M3: ---	M1
P8	M1: todos; M2:a);c); f); g); h); M3: g)	M1: --- M2: c) M3: a); b)	Experimento e contextualização	M1:--- M2) a); b) M3: b)	M2-M3

Como é possível perceber pelo quadro acima, as propostas P1, P2, P4 e P7 apresentaram elementos predominantemente pertencentes ao Modelo 1, o que permitiu classificá-las sob esse modelo. Nessas propostas são apenas apontados quais serão os princípios levados em conta no preparo das aulas experimentais, sem mais indicações de seu tratamento, como exemplifica o excerto da P4:

P4: Quanto aos princípios da QV: 1. Prevenção; 3. Síntese de produtos menos perigosos; 4. Desenho de produtos seguros; 5. Solventes e auxiliares mais seguros; 6. Busca pela eficiência de energia; 7. Uso de fontes renováveis de matéria-prima

Na proposta acima há, inclusive, equívocos em relação ao apontamento de alguns princípios, tais como os princípios 3; 4 e 7, impossíveis de serem colocados em prática no experimento proposto pelos acadêmicos e possivelmente de difícil aplicação em muitos outros experimentos com fins didáticos para o Ensino Médio. Isso demonstra, portanto, que os proponentes não tinham pleno discernimento acerca dos princípios, indicando uma carência conceitual sobre o tema.

Essas propostas também trazem a semelhança de que o professor adota uma postura unidirecional, confirmada também nos objetivos, em que, apesar de conhecer os princípios, o professor se preocupa apenas colocá-los em prática, sem a participação reflexiva e consciente dos alunos.

As propostas P3, P5 e P6, entretanto, trouxeram elementos didáticos e da prática docente alinhadas com o Modelo 2. Verifica-se como ponto comum e preponderante que, nessas propostas, a inserção da QV ultrapassa o âmbito da experimentação e abrange também os conteúdos de ensino ou até mesmo a contextualização, como exemplificado em P3:

Após o experimento, discutir com os alunos sobre vantagens e desvantagens dos combustíveis etanol e gasolina (...) os princípios da química verde e abordagem CTSA.(...) Na contextualização enfatizar que o álcool apresenta preço acessível, é um combustível ecologicamente correto, é obtido por fontes renováveis; sua queima emite menos gases poluentes na atmosfera pelo fato do álcool ser derivado da cana de açúcar e não do petróleo.

Em P6, por exemplo, a dupla proponente conseguiu envolver os alunos na discussão sobre os princípios contemplados na experimentação através de uma questão colocada no pós-laboratório do roteiro experimental e abordar a QV nos conteúdos teóricos buscando o uso de tecnologias mais limpas quando do tratamento de catalisadores, como mostram os excertos abaixo:

P6 – (Pós-laboratório): Quais princípios da QV estão foram contemplados neste experimento? Discuta-os. (Procedimentos de ensino): Podemos trazer uma introdução sobre os princípios da QV falando sobre os catalisadores tradicionais, as vezes tóxicos, corrosivos e prejudiciais à saúde humana e ao ambiente e aqueles que atendem aos princípios da QV.

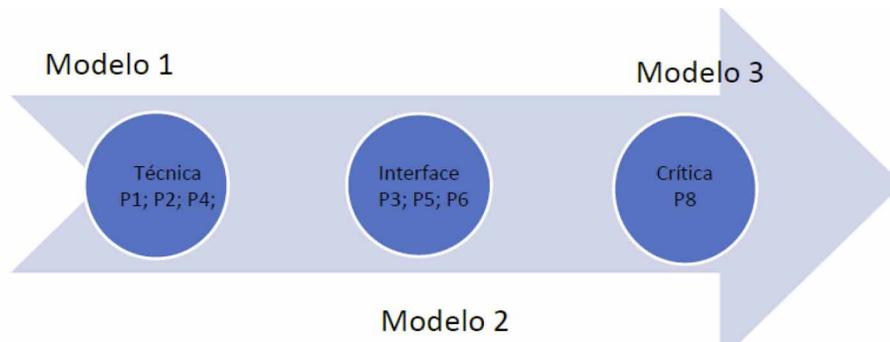
Assim, percebe-se que os proponentes identificaram possibilidades de tratar da QV ao abordar sobre tecnologias mais verdes e isso indica as oportunidades de transversalizar a QV no ensino de Química, seja no Ensino Médio ou Superior, pois muitos conceitos e conteúdos químicos tornam isso possível.

A proposta P8 foi a única que conseguiu atingir algumas características do Modelo 3, tendo em vista que vinculou sua proposta a objetivos educacionais amplos como a Educação Ambiental e a Sustentabilidade. Além disso, o proponente apresenta uma problemática que permeia toda a sequência de aulas. O acadêmico propõe isso nos seguintes termos:

A8- As evidências dos impactos causados pela oxidação vem sendo alvo de estudos dentro da Ciência e da Tecnologia; (...) A sociedade vem pagando silenciosamente por este processo natural, pois a oxidação é um processo irreversível e não pode ser parado, mas reduzido significativamente. Visando isso e com um olhar direcionado aos parâmetros da QV, se faz necessário uma pesquisa problematizadora, instigando os alunos à busca dos conhecimentos literários a fim de prever métodos analíticos e de tratamento desses problemas, visando a diminuição de gastos de verbas públicas, no impacto ao meio ambiente, e bem-estar social.

Assim, levando em conta que a proposta de contextualização apresentada pelo acadêmico está vinculada a uma abordagem CTSA e há intensa relação com a QV, pode-se dizer que sua proposta foi a que conseguiu contemplar mais elementos dos modelos dessa abordagem, colocando-o numa interface entre Modelo 2 e 3.

Ao final desta análise, julgou-se conveniente retomar as vertentes da Química Verde apresentadas como embasamento deste trabalho, e avaliar a proximidade de cada proposta em relação às vertentes técnica e crítica da QV, como mostra o Esquema 1.



Esquema 1. Posicionamento das propostas em relação aos Modelos de abordagem da QV e suas vertentes
Ordem crescente de abrangência e complexidade

Fonte: Elaborado pelos autores

Ressaltamos que atingir a compreensão mais crítica da QV e colocá-la em prática envolve em primeira instância dominar de forma conceitual e procedimental os princípios da QV e, portanto, sua dimensão técnica. Alcançar a dimensão abrangente envolve, assim, um percurso, um processo, que é gradativa e continuamente construído individualmente e que, inevitavelmente, passará por embates entre o saber e o saber-fazer, para que talvez torne-se um novo saber-ser dentro das práticas químicas e, notadamente, no seu ensino.

Por isso, as indicações feitas acima sobre as vertentes da QV vinculadas aos modelos de abordagem identificados nas propostas didáticas não representam um situação estacionária, e, portanto, não se trata de dar um veredito final, mas de avaliar até que ponto os participantes desta pesquisa conseguiram avançar em direção ao objetivo inicial da pesquisa-ação realizada, que era sobretudo tornar a QV um conceito presente no ensino de Química. Verifica-se que, apesar da adesão aos princípios da QV, sua transposição para o ensino da Química alcançou graus de abrangência diferenciados, de acordo com as tendências dos proponentes às vertentes da QV.

Conclusão

Considerando a necessidade de direcionar o ensino de Química aos objetivos mais amplos da Educação e da Educação Científica, os quais se anunciam predominantemente como sendo a Formação para a Cidadania e a Alfabetização Científica, este trabalho buscou apresentar possíveis modelos pelos quais a QV pode ser inserida e abordada no ensino de Química de modo a colaborar para o alcance dos referidos objetivos.

Os modelos propostos denotam uma complexidade e um alinhamento crescente com a vertente crítica da QV e acrescentam, gradativamente, exigências à abordagem didático-pedagógica do professor, que o afastam da tratativa tradicional, unidirecional e descontextualizada de ensino.

Atingir o Modelo 3, mais elaborado e completo de abordagem da QV, ainda é um desafio para a formação de professores de Química, os quais por vezes, desconhecem até mesmo os conhecimentos fundamentais dessa nova filosofia das práticas químicas. Esse desafio ficou evidenciado na análise das propostas didáticas elaboradas pelos acadêmicos participantes da pesquisa, os quais, mesmo estando inteirados da temática, apresentaram dificuldades em inseri-la de forma abrangente no ensino de Química.

Decorreu dessa análise que 4 (quatro) propostas (P1, P2, P4 e P7), ao abordar a QV somente sob os aspectos do Modelo 1, mantiveram-se na vertente técnica da QV. Nesses casos, com frequência, observou-se que posturas centralizadoras de ensino e apoiadas em uma abordagem presa apenas aos conteúdos e/ou ao cotidiano, foram os principais fatores de impedimento para abordagens mais abrangentes da QV.

Porém, o fato de todos os acadêmicos participantes dessa pesquisa terem conseguido elaborar propostas didáticas para o Ensino Médio condizentes ao menos com o Modelo 1 já demonstra um grande avanço comparado à prática vigente no ensino de Química, nas quais ainda impera o desconhecimento e a desconsideração de tais princípios, especialmente nesse nível de ensino.

Outras 3 (três) propostas (P3, P5, P6), no entanto, conseguiram iniciar um diálogo entre as vertentes técnica e crítica, situando-se na interface destas, como demonstrado no Esquema 1. A principal característica em comum entre esses acadêmicos foi extrapolar

a abordagem QV para além dos limites da experimentação, incluindo-a no tratamento teórico de conteúdos químicos e em propostas de contextualização que suscitam aspectos tecnológicos, econômicos e ambientais, além de possibilitar espaços de debate e diálogo com os alunos sobre tais questões. Notou-se que a postura pedagógica adotada por esses acadêmicos se desvinculou do ensino tradicional, considerando o aluno ser ativo do processo de aprendizagem.

Apenas uma proposta (P8) conseguiu mesclar aspectos do Modelo 2 e 3, situando-se mais próximo da vertente crítica. O principal diferencial dessa proposta foi aproximar-se de uma Educação Ambiental crítica, que partiu de uma problemática real e buscou debater tecnologias viáveis do ponto de vista da Química Verde para evitar os processos de corrosão.

Depreende-se do exposto que a inserção da QV na formação de professores deve considerar os diferentes modelos de abordagem dessa temática para assim nortear propostas de aplicação no Ensino Médio que, vinculadas a correntes pedagógicas críticas e progressistas, favoreçam atingir um ensino mais contextualizado e emancipatório.

Referências

- Anastas, P.T. et al. (2000). The role of catalysis in the design, development and implementation of green chemistry. *Catalysis Today*. 55, 11-22.
- Anastas, P.T. Kirchoff, M.M. (2002). Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry. *Acc. Chem. Res.* 35, (9), 686-694. Consultado em jan./2018 na URL <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ar010065m>.
- Anastas, P.T.; Warner, J.C. (1998). *Green Chemistry: theory and practice*. New York: Oxford University Press, 1998.
- Barbosa, M. (1998). Racionalidades e papel do educador: perspectiva simples e abordagem complexa. In: Carvalho, A. D. De. Et al. (Orgs). *Diversidade e identidade: Actas da 1ª Conferência Internacional de Filosofia da Educação*. Porto: Ed. FLUP.
- Borges, A. T. (2002). Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. *Cad. Bras. Ens. Fís.* 19, (3), 291-313. 2002. Consultado em fev./2018 na URL <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6607>.
- Burmeister, M.; Rauch, F; Eilks, I. (2012). Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. *Chem. Educ. Res. Pract.* 13, 59-68. Consultado em fev./2018 na URL <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2012/rp/c1rp90060a#!Divabstract>.
- Costa, D.A.; Ribeiro, M.G.T.C.; Machado, A.A.S.C. (2012). Uma análise SWOT do contexto CTSS das atividades laboratoriais do ensino secundário. *Informativo de Química*. 124, 65-74. Consultado em dez./2017 na URL http://educa.fc.up.pt/ARTIGOS/BSPQ_124_65_2012.pdf.
- Galiazzi, M.C.; Rocha, J.M.B.; Schmitz, L.C.; Souza, M.L.; Giesta, S.; Gonçalves, F.P. (2001). Objetivos das atividades experimentais no Ensino médio: a pesquisa coletiva como Modo de formação de professores de Ciências. *Ciência & Educação*. 7, (2), 249-263.
- Galiazzi, M.C.; Gonçalves, F.P. (2004) A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química. *Quim. Nova*. 27, (2), 326-331. Consultado em jan./ 2018 na URL <http://www.scielo.br/pdf/qn/v27n2/19283.pdf>.
- Giordan, M. (1999). O papel da experimentação no ensino de Ciências. *Química Nova na Escola*. 10, 43-49. Consultado em maio, 2018 na URL <http://qnesc.sbgq.org.br/online/qnesc10/pesquisa.pdf>.

- Gonçalves, F.P.; Marques, C.A. (2006). Contribuições pedagógicas e epistemológicas em textos de experimentação no ensino de química. *Investigações em Ensino de Ciências*. 11, (2), 219-238. Consultado em abril, 2018 na URL <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/494/297>.
- Leff, E. (2012). *Saber Ambiental: Sustentabilidade, Racionalidade, Complexidade, Poder*. 9ª ed. Petrópolis, RJ: Vozes.
- Machado, A.A.S.C. (2014) *Introdução às Métricas da Química Verde: uma visão sistêmica*. Florianópolis: UFSC.
- Marques C.A. Gonçalves, F.P.; Zampiron, E.; Coelho, J.C.; Mello, L.C.; Oliveira, P.R.S.; Lindemann, R.H. (2007). Visões de Meio ambiente e suas implicações pedagógicas no ensino de Química na escola média. *Quim. Nova*. 30, (8), 2043-2052. Consultado em nov./2018 na URL http://quimicanova.sbq.org.br/imagebank/pdf/Vol30No8_2043_42-ED06378.pdf.
- Marques, C.A. *et al.* (2013). A abordagem de questões ambientais: contribuições de formadores de professores de componentes curriculares da área de ensino de química. *Quim. Nova*. 36, (4), 600-606. Consultado em nov./2018 na URL <http://www.scielo.br/pdf/qn/v36n4/v36n4a20.pdf>.
- Marques, C.A.; Machado, A.A.S.C. (2014). Environmental Sustainability: implications and limitations to Green Chemistry. *Found Chem*. 15, (1), 1-25. Consultado em maio, 2018 na url https://www.researchgate.net/publication/257563335_Environmental_Sustainability_Implications_and_limitations_to_Green_Chemistry.
- Morin, E.; Motta, R.; Ciurana, E.R. (2004). *Educar para era planetária: o pensamento complexo como método de aprendizagem no erro e na incerteza humana*. Lisboa: Editora Piaget.
- Ribeiro, M.G.T.C; Machado, A.A.S.C. (2012). Novas métricas holísticas para avaliação da verduza de reações de síntese em laboratório. *Quím. Nova*. 35, (9), 1879-1883. Consultado em nov. 2017 na URL <http://www.scielo.br/pdf/qn/v35n9/v35n9a31.pdf>.
- Thornton, J. (2000). Beyond Risk: An Ecological Paradigm to Prevent Global Chemical Pollution. *Risk Assessment and Global Pollution*. 6, (3), 318-330. Consultado em jun./2018 na URL http://www.rachel.org/files/document/Beyond_Risk_An_Ecological_Paradigm_to_Prevent_.pdf.
- SANDRI, M.C.M. (2019) Química Verde: possibilidades para a formação inicial de professores. In: FREIRE, L.I.F; COSTA, F.R.S. Temáticas e pesquisas em ensino de Química no estado do Paraná. Ponta Grossa: Editora UEPG.. Consultado em URL: <http://portal-archipelagus.azurewebsites.net/.../tem.../1175287/>
- Zandonai, D. P.; et al. (2014). Química Verde e Formação de Profissionais do Campo da Química: Relato de uma Experiência Didática para Além do Laboratório de Ensino. *Rev. Virtual Quím*. 6, (1) 73-84. Consultado em dez./ 2017 na URL <http://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/432>.
- Zuin, V. (2011). *A inserção da dimensão ambiental na formação de professores de Química*. Campinas: Átomo.
- Zuin, V.G. et al. (2015). Desenvolvimento Sustentável, Química Verde e Educação Ambiental: o que revelam as publicações da SBQ. *Revista Brasileira de Ensino de Química*. 10, (1), 79-90.