

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENSINO DE CIÊNCIAS E EDUCAÇÃO
MATEMÁTICA**

MATHEUS GONÇALVES NASCIMENTO

**ABORDAGENS DO ENSINO DE QUÍMICA VERDE DO BRASIL: UM
MAPEAMENTO DA PRODUÇÃO ACADÊMICA *STRICTO SENSU***

**PONTA GROSSA
2025**

MATHEUS GONÇALVES NASCIMENTO

**ABORDAGENS DO ENSINO DE QUÍMICA VERDE DO BRASIL: UM
MAPEAMENTO DA PRODUÇÃO ACADÊMICA *STRICTO SENSU***

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática na Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Marilei Casturina Mendes Sandri.

**PONTA GROSSA
2025**

N244 Nascimento, Matheus Gonçalves
Abordagens do ensino de química verde do Brasil: um mapeamento da produção acadêmica *stricto sensu* / Matheus Gonçalves Nascimento. Ponta Grossa, 2025.
117 f.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática - Área de Concentração: Formação de Professores e Ensino de Ciências), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Marilei Casturina Mendes Sandri.

1. Ensino de química. 2. Modelos de abordagem. 3. Propostas didáticas. 4. Química verde. I. Sandri, Marilei Casturina Mendes. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Formação de Professores e Ensino de Ciências. III.T.

CDD: 540



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-900 - Ponta Grossa - PR - <https://uepg.br>

TERMO

TERMO DE APROVAÇÃO

MATHEUS GONÇALVES NASCIMENTO

"ABORDAGENS DO ENSINO DE QUÍMICA VERDE DO BRASIL: UM MAPEAMENTO DA PRODUÇÃO ACADÊMICA *STRICTO SENSU*"

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, Setor de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Ponta Grossa 30 de maio de 2025.

Membros da Banca:

Profa. Dra. Marilei Casturina Mendes Sandri - UEPG
(Presidente)

Profa. Dra. Júlia Damazio Bouzon – UERJ
(Membro Externo)

Profa. Dra. Luciane Grossi - UEPG
(Membro Interno)



Documento assinado eletronicamente por **Luciane Grossi, Professor(a)**, em 07/08/2025, às 15:20, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Júlia Damazio Bouzon, Usuário Externo**, em 07/08/2025, às 19:22, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marilei Casturina Mendes Sandri, Professor(a)**, em 11/08/2025, às 11:35, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador **2719318** e o código CRC **92F7F8BC**.

AGRADECIMENTOS

Este é um momento de gratidão, após todo o processo e o tempo dedicados à realização de um dos meus maiores sonhos: o tão esperado título de mestre. Infelizmente, neste pequeno espaço, não consigo expressar minha gratidão a todos, mas deixo aqui meu agradecimento sincero àqueles que contribuíram positivamente para essa conquista.

Endereço meus agradecimentos ao meu marido Tiago, a minha mãe Josiane, minha irmã Cassi e ao meu pai Marcos, minha amiga Cristiane Valus, pessoas essas que ficaram próximas de mim durante todo esse processo. Agradeço a minha amiga, Dra. Rafaela Franqueto, por toda ajuda e incentivo, principalmente quando me havia dúvidas de como proceder com a minha escrita. Agradeço a professora Rita, que no decorrer do processo se tornou uma estrelinha e sei que, onde estiver, estará muito orgulhosa da minha evolução. Gratidão também às minhas colegas de Mestrado, em especial a Renata, que me auxiliou bastante com a Química Verde e a Ana Maria, que no início disponibilizou uma enorme ajuda que foram as caronas até Ponta Grossa.

Agradeço imensamente à minha orientadora, a professora Dra. Marilei Casturina Mendes Sandri, por todo apoio, incentivo, compreensão e, principalmente, paciência. Me considero um orientando de sorte desde o começo, pois toda evolução que tive nesta jornada foi, de primeira instância, graças a minha orientadora.

Não poderia deixar de oferecer meus agradecimentos a todos os professores do PPGECEM, por ministrarem as aulas da melhor maneira possível, contribuindo de forma significativa para a minha aprendizagem.

A palavra que define o meu momento de hoje no mestrado é gratidão.

RESUMO

A Química Verde (QV) representa uma abordagem da Química pautada por princípios de sustentabilidade, tendo como objetivo principal a redução ou eliminação de resíduos e poluentes provenientes de processos químicos, tornando-os mais limpos e menos agressivos ao ambiente e à saúde humana. A abordagem da QV no ensino ainda é incipiente no Brasil, pois são poucos os cursos de Licenciatura em Química que a contemplam em seus currículos, o que impede uma formação mais sustentável dos professores de Química. O ensino da QV apresenta diferentes modelos de abordagem, que vão desde os mais simples, relacionados a uma perspectiva técnico-instrumental, até os mais abrangentes, pautados em um panorama crítico da QV. Esses modelos auxiliam na inserção desta filosofia no Ensino de Química, além de permitirem identificar com qual abrangência a temática está sendo abordada. Trata-se de uma pesquisa de abordagem qualitativa, de caráter descritivo que, por meio de uma pesquisa bibliográfica e exploratória, objetivou investigar como a QV é tratada nas pesquisas desenvolvidas em nível *stricto sensu* no Brasil, assim como, analisar as propostas didáticas levantadas sob a ótica dos modelos de abordagem da QV e suas contribuições para a implementação de práticas sustentáveis no Ensino de Química. Os dados foram coletados por meio das bases de dados da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e do Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES (CTDC). A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) abrangeu o período de 2012 até o primeiro semestre de 2024, totalizando 24 trabalhos que atenderam aos critérios de inclusão. Esses 24 trabalhos são oriundos de 14 Instituições de Ensino Superior (IES), cujos Programas de Pós-Graduação (PPG) foram analisados para verificar a distribuição e a concentração das pesquisas na área. Os dados coletados foram analisados e interpretados pelo método de Análise Textual Discursiva (ATD), a qual gerou quatro categorias emergentes, a saber: Propostas Didáticas em QV, Química Verde e Currículo, Análise Epistêmica da QV e Revisão de Literatura sobre o Ensino de QV. Dos trabalhos analisados, 11 pertencem exclusivamente à categoria de Propostas Didáticas em QV e foram examinados com base nos modelos de abordagem de Sandri e Santin Filho. Dentre as propostas analisadas, a maioria conseguiu alcançar descritores do Modelo 2, demonstrando que, de certa forma, está havendo um avanço na maneira como a QV vem sendo abordada no ensino. Os resultados obtidos demonstram que, embora o EQV ainda esteja em processo de consolidação no cenário acadêmico brasileiro, há avanços significativos, especialmente nas propostas didáticas que buscam incorporar abordagens mais críticas e contextualizadas. A análise dos trabalhos *stricto sensu* revelou uma crescente preocupação com a formação de professores alinhada aos princípios da sustentabilidade, evidenciando o potencial transformador da QV no ensino. A análise dos PPG revelou que a produção sobre o EQV ainda está concentrada em poucos grupos de pesquisa e linhas de investigação, o que evidencia a necessidade de ampliar o número de programas e pesquisadores envolvidos com a temática. Assim, esta pesquisa contribui para o fortalecimento da discussão sobre práticas pedagógicas sustentáveis e para o reconhecimento da QV como um eixo estruturante na formação docente e no currículo da Educação em Química.

Palavras-chave: Química Verde; Ensino de Química; Modelos de Abordagem; Propostas Didáticas.

ABSTRACT

Green Chemistry (GC) represents an approach to chemistry guided by sustainability principles, with the primary objective of reduction or elimination of waste and pollutants from chemical processes, making them cleaner and more benign for the environment and human health. The approach to GC in teaching is still in its infancy in Brazil, as few undergraduate chemistry degree courses include it in their curricula, which hinders more sustainable training for chemistry teachers. The teaching of GC presents different models of approach, ranging from the simplest, related to a technical-instrumental perspective, to the most comprehensive, based on a critical perspective of GC. These models help to incorporate GC into chemistry teaching, as well as allowing us to identify how comprehensively the subject is being approached. In view of this, the main objective of this research was to carry out a Systematic Literature Review (SLR), at the *stricto sensu* level (master's and doctorate), at the national level, in order to verify the work on Green Chemistry Teaching (GCE) in Brazil. The research is qualitative in nature, with descriptive objectives and a Bibliographical Review approach. The data was obtained from the databases of the Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations (BDTD) and the CAPES Catalog of Theses and Dissertations (CTDC). The SLR covered the period from 2012 to the second half of 2024, totaling 24 papers that met the inclusion criteria. The data was analyzed and interpreted using the Textual Discourse Analysis (TDA) method, which generated four emerging categories, namely: Didactic Proposals in GC, Green Chemistry and the Curriculum, Epistemic Analysis of GC and Literature Review on Teaching GC. Of the papers analyzed, 11 belong exclusively to the GC Teaching Proposals category and were examined based on Sandri and Santin Filho's approach models. Of the proposals analyzed, most were able to achieve Model 2 descriptors, demonstrating that, to a certain extent, progress is being made in the way GC is approached in teaching. The results obtained show that, although GCE is still in the process of being consolidated in the Brazilian academic scene, there has been significant progress, especially in the didactic proposals that seek to incorporate more critical and contextualized approaches. The analysis of *stricto sensu* papers revealed a growing concern with teacher training aligned with the principles of sustainability, highlighting the transformative potential of GC in teaching. Thus, this research contributes to strengthening the discussion on sustainable teaching practices and to recognizing GC as a structuring axis in teacher training and in the Chemistry Education curriculum.

Keyword: Green Chemistry; Chemistry Education; Teaching Models; Didactic Proposals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Principais acontecimentos relacionados ao Desenvolvimento Sustentável.....	25
Figura 1.2 - Diferentes níveis de competências de aprendizagem em QV.....	34
Figura 2.1 - Modelo de Johnstone para os níveis do conhecimento químico.....	39
Figura 2.2 - Tetraedro de Mahaffy na Educação Química.....	40
Figura 2.3 - Tetraedro de Sjöström incluindo diferentes níveis de complexidade.....	40
Figura 2.4 - Os três pilares modelo da sustentabilidade.....	44
Figura 2.5 - Representação esquemática da Química Verde no ensino de Química.....	47
Figura 4.1 - Dados obtidos.....	64
Figura 4.2 - Gráfico com as publicações de Teses e Dissertações, encontradas na RSL.....	66
Figura 4.3 - Quantidade de publicações em cada região do Brasil.....	68
Figura 4.4 - Distribuição dos trabalhos selecionados em suas respectivas categorias.....	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 - Os 12 princípios da Química Verde.....	27
Quadro 2.1 - Modelos quanto a abordagem didática.....	50
Quadro 2.2 - Modelos quanto à postura do professor.....	52
Quadro 2.3 - Modelos quanto ao momento e a frequência da abordagem.....	53
Quadro 2.4 - Modelos quanto aos objetivos educacionais.....	53
Quadro 3.1 - Palavras-chave que foram utilizadas na Pesquisa bibliográfica.....	58
Quadro 4.1 - Dissertações sobre o EQV no período de 2012 a 2024.....	64
Quadro 4.2 - Teses sobre o EQV no período de 2012 a 2024.....	65
Quadro 4.3 - Relação dos trabalhos publicados na RSL com seus respectivos PPGs.....	69
Quadro 4.4 - Código utilizado na categorização, referente a cada trabalho.....	72
Quadro 4.5 - Categorias Emergentes Sobre Ensino de QV e seus descritores.....	73
Quadro 4.6 - Subcategorias C1 e os trabalhos que as compõem.....	75
Quadro 4.7 - Subcategorias da C2 e trabalhos que as compõem.....	82
Quadro 4.8 - Distribuição dos trabalhos Quanto à abordagem Didática.....	92
Quadro 4.9 - Trabalhos Quanto à postura do professor.....	94
Quadro 4.10 - Trabalhos Quanto ao momento e a Frequência da Abordagem.....	95
Quadro 4.11 - Distribuição dos trabalhos Quanto aos Objetivos Educacionais.....	96
Quadro 4.12 - Distribuição dos trabalhos nos modelos de abordagem da QV.....	104

LISTA DE SIGLAS

ACS	<i>American Chemical Society</i>
ATD	Análise Textual Discursiva
ATV-QV	Ambiente Temático Virtual de Química Verde
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
C	Categoria
CEFET/RJ	Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
CI	Conclusão
COVID-19	<i>Corona Virus Disease 2019</i>
CTDC	Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
D	Dissertação
DDT	Dicloro-Difenil-Tricloroetano
DESD	Década Mundial da Educação para o Desenvolvimento Sustentável
DS	Desenvolvimento Sustentável
EDS	Educação para o Desenvolvimento Sustentável
EQV	Ensino de Química Verde
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
GIEQ	Grupo de Investigação no Ensino de Química
IEQ	Instrumentação do Ensino de Química
IES	Instituição de Ensino Superior
IFPR	Instituto Federal do Paraná
IN	Introdução
M	Metodologia
MEQ	Metodologia do Ensino de Química
OE	Objetivos Específicos
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PCC	Prática como Componente Curricular
PCK	Conhecimento Pedagógico do Conteúdo
PCM	Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática
PEQV	Princípios da Educação em Química Verde
PGQ	Programa de Pós-graduação em Química
PIBID	Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência
PP	Projeto Pedagógico
PPC	Projeto Pedagógico Curricular
PPCTE	Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação
PPG	Programa de Pós-graduação
PPGECM	Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e em Matemática
PPGECT	Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica

PPGE	Programa de Pós-graduação em Educação
PPGEN	Programa de Pós-graduação em Ensino
PPGQ	Programa de Pós-graduação em Química
PPGQA	Programa de Pós-graduação em Química Aplicada
Promestre	Mestrado Profissional Educação e Docência
PROFQUI	Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional
QN	Química Nova
QV	Química Verde
RD	Resultados e Discussão
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
T	Tese
UC	<i>Union Carbide</i>
UEM	Universidade Estadual de Maringá
UENP	Universidade Estadual do Norte do Paraná
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFMT	Universidade Federal do Mato Grosso
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UNCED	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
UniFio	Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos
Unicentro	Universidade Estadual do Centro-Oeste
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	11
INTRODUÇÃO.....	13
CAPÍTULO 1 - HISTÓRICO DA QUÍMICA VERDE E SEUS PRINCÍPIOS.....	19
1.1 A QUÍMICA E A SUSTENTABILIDADE.....	19
1.2 QUÍMICA VERDE: HISTÓRICO E PRINCÍPIOS.....	23
1.2.1 O Surgimento da Química Verde.....	23
1.2.2 Os Princípios da Química Verde.....	26
1.3 ENSINO DE QUÍMICA VERDE.....	30
1.4 O ENSINO DE QUÍMICA VERDE ATRAVÉS DE UMA ABORDAGEM CTS.....	34
CAPÍTULO 2 - OS MODELOS DE ABORDAGEM DA QUÍMICA VERDE.....	38
2.1 MODELOS DE SJÖSTRÖM E TALANQUER.....	38
2.2 MODELOS DE BURMEISTER E COLABORADORES.....	43
2.3 MODELOS DE GOES E COLABORADORES.....	46
2.4 MODELOS DE SANDRI E SANTIN FILHO.....	49
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA.....	56
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	56
3.2 CAMINHO METODOLÓGICO.....	57
3.2.1 Revisão Sistemática de Literatura (RSL).....	58
3.2.2 Análise Textual Discursiva (ATD).....	60
3.2.3 Análise das Propostas Didáticas.....	61
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	63
4.1 RESULTADOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL).....	63
4.2 CATEGORIAS EMERGENTES.....	71
4.3 ANÁLISE DAS PROPOSTAS DIDÁTICAS.....	90
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	106
REFERÊNCIAS.....	109

APRESENTAÇÃO

A minha curiosidade, desde criança, sempre me levou a procurar entender todos os fenômenos que me chamavam a atenção e que estavam ao meu redor, como por exemplo: Por que chove?; Por que a água ferve?; Por que existe o fogo e como ele surgiu?. Esses porquês despertaram meu interesse por questões científicas, mesmo sem compreender que poderia se tratar de Ciência.

Foi na minha adolescência que tive o contato, pela primeira vez, com a disciplina de Química, e pude perceber que essa Ciência também se preocupava em responder alguns dos questionamentos que eu me fazia. Porém, a falta de estrutura e a defasagem de conhecimento com a qual me deparei durante o Ensino Médio me fez pensar várias vezes se era exatamente esse caminho que eu iria percorrer. Uma coisa era certa: o sonho era me tornar um cientista, mas eu ainda tinha dúvidas sobre qual área eu iria depositar todo o meu esforço. Na fase final do Ensino Médio, me identifiquei ainda mais com a Química, pois meu professor da época fez com que as dúvidas que eu ainda tinha sobre a escolha do curso fossem sanadas.

Em 2016, terminei o Ensino Médio e almejava ingressar na faculdade em 2017. Porém, alguns imprevistos, como a abertura de um comércio dos meus pais e um grave acidente no final desse mesmo ano, fizeram com que eu adiasse o ingresso no Ensino Superior para o ano de 2018, no curso de Licenciatura em Química no Instituto Federal do Paraná, na cidade de Irati. Meu objetivo desde criança sempre foi seguir pelo caminho da licenciatura, pois desde muito pequeno sentia o desejo de ser professor e, de alguma forma, poder impactar a vida das pessoas da melhor maneira possível: com o conhecimento.

A minha graduação foi muito importante para a minha formação e carreira, pois considero ter sido um acadêmico ativo. Sempre participei de muitos eventos, congressos, fiz parte de equipes organizadoras de colóquios, ou seja, tudo que eu pudesse fazer e que me fizesse compreender ainda mais o caminho que estava percorrendo era válido. Em 2018, já no primeiro ano de graduação, participei do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID), o qual me fez ter meu primeiro contato com a sala de aula como docente, entendendo como era todo o processo que um professor enfrenta em sua profissão, desde questões pedagógicas a questões de organização dentro e fora da sala de aula. Foi uma experiência única, que me fez refletir ainda mais se esse era o caminho que eu queria seguir. Após 18 meses de muitas experiências e algumas dificuldades, decidi que eu realmente iria percorrer o caminho da docência.

Durante minha graduação, vivi momentos ótimos, mas também enfrentei desafios, especialmente quando, no início de 2020, as atividades foram suspensas devido à pandemia da COVID-19. O medo e a incerteza sobre o futuro me acompanharam até 2022, quando, após um período intenso e incerto, no mês de maio finalmente me formei. Nesse mesmo mês, me inscrevi para o mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Ponta Grossa e fui aprovado. No entanto, no dia em que saiu o resultado da primeira fase, perdi a professora que mais me incentivou a seguir essa jornada. Mesmo com o luto, essa perda foi um combustível para continuar a trilhar o caminho que estava por vir.

Atualmente sou professor na rede básica e superior de ensino, trabalho na rede pública e privada e estou desenvolvendo a minha pesquisa no Ensino de Química Verde, juntamente com a minha orientadora Dr^a. Marilei Casturina Mendes Sandri, uma das minhas maiores inspirações para continuar a minha trilha por essa temática fascinante e extremamente necessária nos dias atuais. Venho me dedicando a essa temática e me sinto orgulhoso em fazer parte dessa linha de pesquisa, pois a compreendo como um ato de coragem e resistência. A QV não surgiu de forma repentina ou por uma inspiração isolada de algum químico acadêmico. Pelo contrário, foi resultado de um longo processo de luta e mobilização, especialmente por parte de químicos industriais e engenheiros químicos, que buscavam soluções para minimizar a produção de resíduos e reduzir os impactos ambientais causados pela indústria química (Machado, 2011).

Acredito que abordar a QV no ensino é um importante caminho para despertar um olhar mais crítico dos estudantes, para que, além de entender os conceitos da Química, eles possam relacioná-la com o meio ambiente, dando lugar a compreensão dos conceitos acerca da sustentabilidade. É essencial que a Química seja abordada de maneira consistente, explorando seus benefícios e malefícios, mas isso não significa que a coerência dependa apenas de apresentar esses aspectos. Ressalta-se que uma abordagem coerente também envolve explicar os princípios, aplicações e o impacto da Química de maneira abrangente.

Por isso, considero necessário enfatizar a importância de que a QV no ensino de química em detrimento à química convencional, que se refere aos métodos tradicionais amplamente utilizados na indústria e na pesquisa, conhecidos por seu potencial de causar impactos negativos ao meio ambiente e à saúde.

INTRODUÇÃO

A exploração intensa dos recursos naturais é um fenômeno complexo, pois resulta da junção de inúmeros fatores culturais, históricos e tecnológicos. Entre esses aspectos, pode-se destacar o avanço da Revolução Industrial, que viabilizou a mecanização da produção e alavancou o consumo de recursos naturais; o crescimento populacional, que ampliou a demanda por energia, alimentos e bens de consumo; e o desenvolvimento econômico, estimulou práticas extrativistas, as quais muitas vezes eram insustentáveis.

Nesse contexto, a Química desempenhou papel relevante ao possibilitar a criação de produtos e tecnologias voltados às necessidades humanas. Esse desenvolvimento ocorreu dentro de uma concepção de ciência predominantemente linear e positivista, a qual acreditava no avanço técnico como solução para todos os problemas da sociedade, sem considerar os possíveis efeitos colaterais. Contudo, essas inovações frequentemente intensificaram a exploração do meio ambiente, desconsiderando seus impactos de longo prazo. Tais ações desafiam químicos e pesquisadores a buscarem alternativas para minimizar ou eliminar processos que aceleram a degradação ambiental. Como afirma Machado (2011):

A crescente tomada de consciência pela Indústria Química, na década de 80, de que a resolução do problema da poluição e dos resíduos por acoplamento de equipamento de fim de linha às instalações industriais vigentes era pouco eficaz, bem como, paralelamente, o desenvolvimento de práticas de concepção de produtos industriais e processos de os manufaturar dirigidas ao uso eficiente dos materiais (desmaterialização) e ao aumento da produtividade industrial, induziram uma série de atitudes inovatórias que culminaram na QV (Machado, 2011, p. 535).

Para Prado (2003), a redução dos danos ao meio ambiente e a continuidade do desenvolvimento sustentável são desafiadoras, exigindo uma nova conduta da Química, com processos que minimizem a geração de resíduos. Esse movimento não se limita apenas à redução da geração, mas também busca evitar a produção excessiva e o manuseio inadequado desses resíduos, de modo a minimizar seus impactos ambientais. Ainda na concepção de Prado (2003), o novo caminho a ser delineado pela Química, é denominado como química sustentável ou Química Verde (QV), que pode ser definida 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 a saúde e ao ambiente” (Anastas; Warner, 1998, p. 11). É importante salientar que a QV não é uma disciplina ou uma subárea da Química. Trata-se de uma meta que abrange a maior parte da Química e da Engenharia Química (Sjöström, 2006).

A QV surgiu em meados de 1990 como uma resposta proativa (Sandri; Marques, 2021) aos problemas ambientais que envolvem algum tipo de processo químico. Houve, portanto, a necessidade da reformulação de práticas e teorias tradicionais que permeiam a Química, permitindo a expansão dessa nova filosofia.

A QV é fundamentada por 12 princípios, os quais são primordiais para uma Química sustentável para o meio ambiente e segura para a saúde humana. São eles: 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. (Anastas; Warner, 1998). Corroborando com as ideias de Sousa e Silva (2018, p. 60) “os doze princípios da QV respondem à obrigação ética de contribuir para o desenvolvimento e bem-estar de todos os cidadãos do mundo, sem prejudicar a natureza, nem as futuras gerações”.

Diante dos problemas ambientais atuais, a inserção da QV no meio acadêmico torna-se essencial para disseminar, problematizar e enfrentar criticamente as questões ambientais relacionadas à Química. Em concordância com as ideias de Silva *et al.* (2016, p. 3) “a inserção dessa filosofia nos futuros profissionais da área de educação em Química é de extrema importância para que a mesma seja transmitida aos seus educandos futuros”.

A formação dos professores de Química pautada nos princípios da QV, portanto, é um dos alicerces para um Ensino de Química voltado para a sustentabilidade. Diante disso, é essencial uma formação que vise a implementação da QV no currículo de formação, expandindo assim o conhecimento docente em relação a essa temática e ampliando a abordagem sustentável nas aulas de Química.

Implementar a QV na formação inicial e continuada de professores é uma demanda contemporânea, diante dos desafios propostos para alcançar os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), presentes na Agenda 2030. O Desenvolvimento Sustentável (DS) pode ser definido como aquele que atende às necessidades das gerações atuais sem comprometer a capacidade das futuras gerações de suprirem suas próprias necessidades (WCED, 1987). A Agenda 2030 é um acordo internacional firmado pelos países membros da Organização das Nações Unidas (ONU), consolidado em 2015, que busca promover o Desenvolvimento Sustentável em escala global até o ano de 2030. Ela prevê ações transformadoras que abordam os grandes problemas enfrentados pela humanidade, entre eles, os ambientais (Silva *et al.*, 2022).

Os países que participam da Agenda 2030 buscam alcançar metas sustentáveis. Para Moreira *et al.* (2019, p. 23) em relação aos 17 ODS, “seu principal intuito é garantir o desenvolvimento humano e o atendimento às necessidades básicas do cidadão por meio de um processo econômico, político e social que respeite o ambiente e a sustentabilidade”. Nesse contexto, é possível analisar a forte conexão entre a QV e os 17 ODS, visto que é fundamental para a promoção de práticas sustentáveis em relação à indústria química e grande parte do setor produtivo.

A abordagem da QV ainda é muito incipiente no Brasil, conforme apontado por Almeida *et al.* (2019) ao realizarem uma pesquisa nos cursos de Licenciatura em Química sobre o cenário da educação em QV no país. Os autores observaram que as disciplinas que envolvem a temática, bem como os cursos de licenciatura que ofertam essa disciplina separadamente, são extremamente escassas. Esse panorama reforça a necessidade de mudanças na formação de professores, de modo que eles possam atuar de forma mais alinhada aos princípios da sustentabilidade.

Essa carência na formação inicial dos futuros docentes reflete diretamente na educação básica, uma vez que são esses professores que levarão tais conhecimentos para as escolas. Diante disso, pode-se dizer que a inclusão da QV nos currículos escolares é fundamental para que os estudantes, desde os primeiros contatos com a Ciência, desenvolvam uma consciência ambiental crítica e compreendam a importância de práticas sustentáveis, uma vez que, ao integrar esses conceitos ao cotidiano escolar, é possível formar cidadãos mais atentos às questões socioambientais, preparados para enfrentar os desafios relacionados ao DS. Sandri (2019), discorre que:

[...]a importância de que esta inserção não se dê apenas de forma pontual ou esporádica - como é o caso de palestras, minicursos e atividades isoladas - e que os princípios não sejam trabalhados apenas restritos às disciplinas específicas do curso, visto que também as disciplinas de formação didático-pedagógica podem ser campos férteis para a discussão dessa temática, com amplas possibilidades de problematização e diálogo com temas educacionais relevantes (Sandri, 2019, p. 11).

Há de se considerar, ainda, que a inserção da QV na formação de professores deve ponderar os diferentes modelos de abordagem dessa temática, para, assim, nortear as propostas de aplicação no ensino, que se vinculam às correntes pedagógicas críticas e progressistas, e que sejam subsídios para um ensino mais contextualizado e emancipatório (Sandri; Santin Filho, 2019).

Diversos autores têm se dedicado a compreender e sistematizar os diferentes modos de inserção da QV no ensino. Nesse contexto, surgem modelos que variam de abordagens mais

simplificadas, de caráter técnico-instrumental, até aquelas fundamentadas em perspectivas críticas e reflexivas. Entre os principais estudiosos que se dedicaram à classificação dessas abordagens, destacam-se Sjöström e Talanquer (2014), Burmeister *et al.* (2012), Goes *et al.* (2013) e Sandri e Santin Filho (2019). Tais contribuições teóricas são fundamentais para analisar como a QV tem sido incorporada nas práticas pedagógicas, e serão retomadas no decorrer do trabalho como suporte para a análise das propostas didáticas encontradas nas pesquisas desenvolvidos em programas *stricto sensu*.

É importante destacar que essas discussões sobre as diferentes formas de abordagem da QV no ensino não se limitam ao contexto acadêmico ou à formação inicial de professores. Elas também têm implicações diretas para a educação básica, onde a maneira como a Química é ensinada pode influenciar a formação de estudantes mais críticos e conscientes em relação às questões socioambientais. Nesse sentido, a educação básica demanda um ensino de Química que vá além da mera transmissão de conteúdos conceituais, incorporando discussões que articulem Ciência, sociedade e meio ambiente. Diante dos desafios socioambientais contemporâneos, torna-se urgente promover uma abordagem que forme sujeitos críticos e conscientes, capazes de compreender o papel da Ciência na construção de um futuro sustentável.

A QV, nesse cenário, apresenta-se como uma ferramenta pedagógica potente, ao possibilitar o diálogo entre conhecimento científico e responsabilidade socioambiental. No entanto, a inserção efetiva da QV nas práticas escolares ainda enfrenta entraves significativos, exigindo esforços no sentido de repensar currículos, formar professores e desenvolver propostas didáticas coerentes com os princípios da sustentabilidade.

Sandri *et al.* (2023), ao analisarem a distribuição de artigos sobre EQV ao longo dos anos de 2000 a 2023, verificaram que a produção se torna mais expressiva a partir de 2012, com significativo aumento de relatos de experiência e propostas didáticas, demonstrando uma tendência dentro do EQV, que passa a estar mais voltada à promoção e compreensão da inserção da QV nos diferentes níveis e ensino. Todavia, com a intenção de ampliar as compreensões acerca dos avanços e dificuldades atreladas ao ensino da QV, esta pesquisa se propôs a olhar para as pesquisas acadêmicas de nível *stricto sensu* e partiu da seguinte questão:

Como a QV tem sido abordada nas pesquisas stricto sensu relativas ao ensino de Química no Brasil, e quais são as principais características das propostas didáticas levantadas voltadas à sua implementação nos currículos educacionais?

A presente pesquisa contribui para a compreensão acerca de como os profissionais professores têm incorporado as propostas relacionadas à QV em suas práticas pedagógicas. Com base nos modelos de abordagem da QV no Ensino de Química, busca-se compreender a abrangência e o impacto dessas ações no contexto educacional.

Este estudo também permite identificar informações relevantes, como as regiões do Brasil que possuem maior volume de publicações sobre o tema e aquelas onde as pesquisas ainda são incipientes. Além disso, possibilita mapear grupos de pesquisa dedicados à área, evidenciando o papel crescente da QV como uma prioridade acadêmica e um foco de discussão em âmbito nacional.

Diante disso, o objetivo geral da presente pesquisa é investigar como a QV é tratada nas pesquisas desenvolvidas em nível *stricto sensu* no Brasil, assim como, analisar as propostas didáticas levantadas sob a ótica dos modelos de abordagem da QV e suas contribuições para a implementação de práticas sustentáveis no Ensino de Química. Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Mapear a produção acadêmica sobre QV em pesquisas *stricto sensu* no Brasil;
- Identificar e descrever tendências sobre EQV no Brasil, apontadas pelas pesquisas selecionadas;
- Discutir, por meio dos modelos de abordagem da QV, as estratégias educacionais empregadas para seu ensino.

O trabalho final foi dividido em cinco capítulos, organizados da seguinte forma: no Capítulo 1, abordou-se o histórico da QV que narra desde o início do século XX, até o surgimento da QV no final da década de 90, de forma a trazer uma contextualização sobre os principais acontecimentos que culminaram no surgimento da QV além da apresentação dos seus 12 princípios.

O Capítulo 2 trata dos modelos de abordagem da QV voltados para o Ensino de Química, tendo como principais referenciais teóricos Mahaffy (2006), Burmeister *et al.* (2012), Goes *et al.* (2013), Sjöström e Talanquer (2014) e Sandri e Santin Filho (2019).

No Capítulo 3 são apresentados os percursos metodológicos, trazendo o perfil da pesquisa, os critérios de seleção dos trabalhos analisados, bem como as estratégias de interpretação dos dados.

O Capítulo 4, por sua vez, apresenta os resultados e a discussão da pesquisa, com a exposição e interpretação dos dados coletados por meio da ATD, utilizada para a

categorização das pesquisas. As propostas didáticas foram analisadas com base no modelo de abordagem de Sandri e Santin Filho (2019), com o objetivo de identificar o nível de complexidade com que a QV vem sendo abordada no Ensino de Química.

Nas considerações finais, são apresentadas as principais conclusões do estudo realizado, retomando os objetivos da pesquisa com o propósito de avaliar seu alcance, reconhecer suas limitações e apontar possibilidades para investigações futuras no campo do EQV.

CAPÍTULO 1

HISTÓRICO DA QUÍMICA VERDE E SEUS PRINCÍPIOS

A QV emergiu como uma resposta aos inúmeros desafios ambientais que foram desencadeados em sua maioria pelo desenvolvimento industrial e pelo uso e produção desenfreada de produtos químicos. No decorrer do século XX, ficou evidente que muitos procedimentos que envolviam direta ou indiretamente a Química auxiliaram na degradação do meio ambiente, exigindo assim uma reformatação nos procedimentos químicos que vinham sendo manuseados.

É nesse contexto que a QV é apresentada como um novo paradigma, elencando princípios que têm como prioridade a prevenção da poluição. Neste capítulo, o objetivo é abordar um breve histórico da QV, desde a sua criação até a sua consolidação. Aqui são explorados também a relação entre a Química e a Sustentabilidade, a evolução das preocupações acerca das questões ambientais e como a Química vem auxiliando na busca por soluções mais seguras e sustentáveis. Ainda são abordados os 12 princípios da QV, os quais auxiliam e impactam diretamente no desenvolvimento de processos e produtos químicos mais sustentáveis.

1.1 A QUÍMICA E A SUSTENTABILIDADE

O desenvolvimento da Química tem impulsionado avanços significativos na saúde, na agricultura e na produção de novos materiais, no entanto, nem todos os resultados desses avanços foram positivos ou benéficos. Desde o início do século XX, a imagem da Química tem sido associada a problemas decorrentes das atividades industriais. Esse período foi marcado pela expansão do setor industrial e pela produção em larga escala de produtos químicos, muitos dos quais contribuíram para a poluição, a degradação ambiental e os acidentes industriais. Eventos como o despejo de resíduos tóxicos em rios e o uso indiscriminado de pesticidas reforçaram a associação da Química a impactos negativos na saúde pública e no meio ambiente. Essa situação evidencia a necessidade de reduzir os riscos em processos de produção e uso de produtos químicos, como destacado por Ferreira *et al.* (2014).

A Química se faz presente em praticamente todos os processos industriais, nos quais seu conhecimento é utilizado para originar novos produtos (Costa, 2018), por isso seu desenvolvimento traz resultados que são visíveis e perceptíveis. Corroborando com esse fato,

Farias e Fávaro (2011, p. 1089), afirmam que “atualmente, a indústria química participa ativamente de quase todas as cadeias produtivas e complexos industriais, inclusive serviços e agricultura, desempenhando um papel de destaque no desenvolvimento das diversas atividades econômicas do mundo.”

A corrida pelo desenvolvimento industrial e pela melhoria da qualidade de vida da população, iniciada no início do século XX, trouxe inúmeros desastres irreversíveis para a natureza, como, por exemplo, uma série de contaminações e poluições ambientais, acarretando a liberação e o acúmulo de substâncias persistentes no meio ambiente, as quais ainda hoje representam um grave problema.

Os acontecimentos do século XX deixaram o mundo cada vez mais apreensivo, por exemplo, as grandes Guerras que ocorreram nesse período. E foi no período Pós-Guerra que inúmeras substâncias foram criadas, trazendo sérias consequências ambientais, como é o caso dos organoclorados. Entre os organoclorados, destaca-se o Dicloro-Difenil-Tricloroetano (DDT), substância criada em 1874 por Othomar Zeidler e empregada como poderoso inseticida por Paul Müller em 1939, sendo amplamente estudado devido aos seus impactos ambientais e na saúde pública.

Segundo Flores *et al.* (2004), os pesticidas eram utilizados como forma de controle químico contra as pragas que devastaram inúmeras plantações, além de auxiliarem na diminuição de doenças em humanos e animais, no entanto, os agentes químicos presentes nesses produtos podem permanecer ativos no meio ambiente por longos períodos, afetando o solo, o ecossistema e, conseqüentemente, a saúde humana. Durante a Segunda Guerra Mundial, na Itália, o DDT chegou a ser pulverizado diretamente na pele das pessoas como estratégia emergencial para o combate ao Tifo, uma doença transmitida por piolhos. Apesar da eficácia inicial, o uso contínuo e em doses cada vez maiores acarretou sérios problemas de saúde, incluindo bioacumulação, toxicidade no sistema nervoso e riscos de câncer, além de impactos ambientais severos devido à sua alta persistência no meio ambiente. Ainda segundo os autores, “o problema surgiu quando o DDT, à semelhança de todos os organoclorados, reduziu sua eficácia, obrigando o uso de dosagens cada vez maiores” (Flores *et al.*, 2004, p. 113).

Na década de 60, a cientista americana Rachel Louise Carson (1907-1964), inquieta com os problemas ambientais que o uso desenfreado dos pesticidas vinha causando na sociedade, publicou o livro *Primavera Silenciosa* (1969). Almeida (2020) destaca que, durante a Guerra Fria, Rachel Carson denunciou os impactos negativos provocados pelo uso de pesticidas. Mesmo sofrendo duras críticas de cientistas vinculados à indústria química

norte-americana, ela foi reconhecida como a fundadora do movimento ambientalista.

De acordo com Pitanga (2016), o período entre as décadas de 1970 e 1980 foi especialmente marcante para a indústria química, sendo lembrado até os dias atuais por acidentes de grandes proporções que evidenciaram a necessidade de maior controle e segurança nos processos industriais. Em 1976, ocorreu o acidente em Seveso, na Itália, caracterizado pela liberação de uma nuvem tóxica de dioxina sobre a cidade, afetando gravemente a saúde da população local e o meio ambiente.

Poucos anos depois, em 1984, Bhopal, na Índia, foi palco de um dos maiores desastres industriais da história, com o vazamento de isocianato de metila, resultando em milhares de mortes e sérias consequências sociais, ambientais e econômicas. Já em 1986, o acidente nuclear de Chernobyl, na então União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), provocou a liberação de material radioativo em larga escala, impactando diversos países europeus e deixando um legado de contaminação e problemas de saúde pública que perduram até hoje. Além desses episódios, o período também ficou marcado pelo avanço na utilização de combustíveis fósseis e de derivados do petróleo, o que trouxe novos desafios para a segurança industrial e ambiental

No que diz respeito aos acidentes ambientais envolvendo a Química, o desastre de Bhopal, na Índia, destaca-se como um dos maiores já registrados. Segundo Machado (2010), o desastre ocorreu na madrugada de 4 de dezembro de 1984, em uma filial da empresa norte-americana *Union Carbide* (UC), que operava uma instalação industrial dedicada à produção de um pesticida chamado carbaril. No entanto, o acidente não foi causado diretamente pela substituição do carbaril por outro composto, mas por uma série de falhas de segurança e manutenção. O composto intermediário utilizado, o isocianato de metila, vazou durante a madrugada, devido ao desligamento do sistema de refrigeração, válvulas de segurança defeituosas e a falta de um plano de emergência eficaz. Esses fatores se combinaram de maneira catastrófica, resultando em uma das maiores tragédias ambientais da história. Machado (2010, p.41), afirma que:

O desastre de Bhopal foi o maior acidente industrial registrado pela história: em termos humanos, provocou a exposição a uma nuvem tóxica de centenas de milhares de pessoas, com morte instantânea ou quase imediata de alguns milhares (bem como de muitos animais) e problemas diferidos na saúde de muitas outras, com consequências ainda hoje sentidas e não completamente avaliadas; em termos materiais, teve como consequência o encerramento definitivo da instalação industrial onde ocorreu, apesar de ela ter ficado praticamente intacta, e afetou viabilidade econômica da respectiva empresa local bem como a da empresa mãe nos EUA (Machado, 2010, p.41).

Diante de tragédias como o desastre de Bhopal e de inúmeros outros impactos ambientais, resultado, na maioria das vezes, de atividades químicas irresponsáveis, surgiu a necessidade de uma reformulação nos processos produtivos, sob uma nova perspectiva. Nesse contexto, o conceito de sustentabilidade começa a ganhar força, reforçando a importância de buscar o equilíbrio entre o desenvolvimento tecnológico, a preservação do meio ambiente e a qualidade de vida. Com o passar dos anos, essa ideia evoluiu e passou a ser consolidada no conceito de DS, que, segundo Barbieri e Silva (2011), consiste em conduzir as atividades produtivas de modo que as necessidades do presente sejam atendidas sem comprometer a capacidade das futuras gerações de suprir as suas próprias necessidades.

Como resposta inicial a essa nova demanda socioambiental, a indústria química começou a adotar iniciativas voltadas para a segurança, a saúde e a preservação ambiental, antes mesmo da consolidação da QV como uma abordagem mais abrangente. Um marco importante foi o programa *Responsible Care*, lançado no Canadá em 1985 e implementado no Brasil sob o nome de Atuação Responsável, que estabelecia compromissos voluntários das empresas com práticas mais seguras e sustentáveis. A partir dessas primeiras ações, a QV surge como um avanço importante, orientando o desenvolvimento de processos e produtos químicos que minimizem ou eliminem o uso e a geração de substâncias perigosas ao longo de todo o ciclo de vida.

Barbieri e Silva (2011) destacam que é necessário compreender a diferença existente entre o DS e a sustentabilidade, ressaltando que essa distinção vai além de uma mera questão linguística, pois envolve diferenças significativas de conceituação. Segundo os autores, o DS está diretamente relacionado à promoção da justiça social e da qualidade de vida, assegurando que as necessidades das gerações presentes sejam atendidas sem comprometer as gerações futuras. A sustentabilidade, por sua vez, é entendida como um conceito mais amplo e abstrato, que nem sempre está vinculado a projetos políticos ou a iniciativas com foco direto no interesse público. É importante ressaltar que, justamente por sua abrangência, não existe um consenso único na literatura sobre as definições de sustentabilidade e de DS, sendo ambos os termos utilizados de maneiras distintas conforme o contexto e a perspectiva adotada por diferentes autores.

Diante disso, grandes discussões científicas que envolvem a Química, o meio ambiente e a sociedade têm sido necessárias para que novos caminhos sejam traçados e percorridos em busca de uma Química considerada mais sustentável. Qualquer alteração na composição de determinadas substâncias, com o objetivo de minimizar impactos negativos, tende a gerar efeitos significativos em toda a cadeia de produção industrial, resultando não apenas na

redução dos danos ao meio ambiente, mas também na diminuição dos riscos à saúde humana e na melhoria das condições de segurança nos processos industriais (Menezes *et al.*, 2011).

A crescente conscientização relacionada aos impactos ambientais provenientes de práticas industriais impulsionou um novo olhar do mundo em relação às práticas químicas. Essa ação é de extrema importância para a proteção ambiental e para o incentivo do uso de substâncias que não sejam nocivas à saúde e ao meio ambiente. A QV surge como uma resposta proativa, sendo esse um novo olhar em busca de práticas mais sustentáveis na área Química e para entender tais mudanças e os impactos advindos da QV, é necessário analisar o seu histórico e os princípios que a fundamentam.

1.2 QUÍMICA VERDE: HISTÓRICO E PRINCÍPIOS

No presente tópico, a abordagem será acerca da trajetória histórica da QV, dando ênfase aos principais acontecimentos que levaram sua origem e desenvolvimento, desde os primeiros debates relacionados às questões ambientais até a consolidação dos seus princípios fundamentais como base para a pesquisa e aplicação na indústria química. Ademais, são explorados os 12 princípios que foram definidos por Anastas e Warner (1998), os quais instruem a abordagem da QV tanto na academia quanto no setor industrial, auxiliando assim na promoção de soluções cada vez mais seguras e sustentáveis.

1.2.1 O Surgimento da Química Verde

O século XX, conforme já mencionado, ficou marcado por inúmeros avanços relacionados à Química, mas também por alguns retrocessos quando os assuntos são as questões ambientais e a sustentabilidade. Decorreram disso inúmeras denúncias, movimentos e acordos que, com o passar das décadas, ajudaram a cunhar a defesa ao meio ambiente, como também a conscientização sobre a importância e a necessidade de práticas sustentáveis nas áreas industriais e científicas.

Segundo a *American Chemical Society* (ACS, 2024), o livro *Primavera Silenciosa* descreve a destruição causada por determinados produtos químicos em ecossistemas na época de sua publicação. Essa obra teve um impacto tão significativo no meio científico e na população em geral que inspirou o movimento ambientalista moderno.

Alguns anos após a publicação do livro, em 1968, foi fundado o Clube de Roma, que recebeu esse nome por ter sido criado na cidade de Roma por Aurelio Peccei, formado por um

grupo de pessoas que promoveram inúmeros debates acerca de questões relacionadas ao meio ambiente, economia e política. De acordo com Krüger (2001, p.39), “o chamado Clube de Roma reunia cientistas, pedagogos, economistas, humanistas, industriais e funcionários públicos, com o objetivo de debater a crise atual e futura da humanidade”.

Em 1972, de 5 a 16 de junho daquele ano, ocorreu a Conferência de Estocolmo, também chamada de Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano. A Conferência de Estocolmo pode ser definida como a primeira tentativa de aproximação entre o meio ambiente e os direitos humanos, ação essa que integrou as discussões políticas.

Segundo Gurski *et al.* (2012), a Conferência de Estocolmo teve como êxito o reconhecimento dos problemas ambientais e a necessidade de agir. Criou-se, então, a Declaração de Estocolmo, que objetivou a descrição das responsabilidades, norteando assim as futuras políticas em relação ao meio ambiente, as quais fundamentam-se no Plano de Ação para o Meio Ambiente. Ainda nas concepções de Gurski, *et al.* (2012, p. 72), após a conferência de Estocolmo “o pensamento que antes havia de crescimento econômico teve uma mudança, pois a maioria dos ambientalistas passou a conceber o desenvolvimento econômico a partir da sustentabilidade ambiental.”.

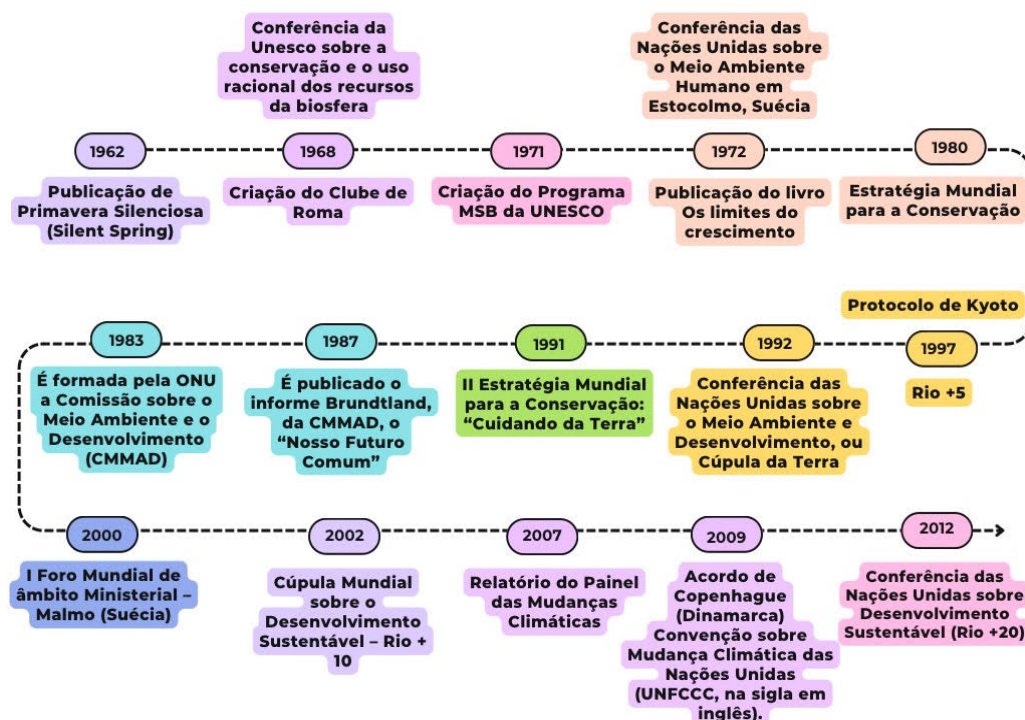
A preocupação em querer harmonizar o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental e propor uma cooperação internacional, resultou no ano de 1987, em um importante documento, chamado de Nosso Futuro Comum ou Relatório de Brundtland (Gurski *et al.*, 2012). Esse Relatório é um documento que antecede a Conferência de Cúpula que ocorreria 5 anos depois, em 1992 no Rio de Janeiro, onde reafirmou-se a Declaração da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, adotada em 1972 em Estocolmo. No Rio, após a conferência, adotou-se a Declaração do Rio de Janeiro sobre Meio ambiente e Desenvolvimento, a qual apresentou inúmeros princípios, como mencionado por Japiassú e Guerra (2017) como:

a concepção de uso equitativo dos recursos naturais, já que as gerações presentes não podem privar as gerações futuras do acesso ao meio ambiente ecologicamente equilibrado; o estabelecimento da proteção ambiental integrada ao processo de desenvolvimento para que este seja sustentável; a fixação da cooperação dos Estados e dos indivíduos, como requisito indispensável para alcançar o desenvolvimento sustentável, a erradicação da pobreza e a redução das disparidades de padrões de vida da população mundial; a importância do dever de precaução e do princípio do poluidor pagador (Japiassú e Guerra, 2017, p. 1890).

A década de 90 foi a década dos debates relacionados às questões ambientais. Este final de século é reconhecido por alguns estudiosos pelo avanço da Química em busca de sínteses e procedimentos verdes e que atendessem às demandas mundiais com o máximo

possível de cuidados com o meio ambiente e com a saúde humana. Para Lenardão *et al.* (2003, p. 124), “esta ideia, ética e politicamente poderosa, representa a suposição de que processos químicos que geram problemas ambientais possam ser substituídos por alternativas menos poluentes ou não poluentes.”. A Figura 1.1 mostra um resumo dos principais acontecimentos que estão relacionados ao DS desde 1968 até o ano de 2012.

Figura 1.1 - Principais acontecimentos relacionados ao Desenvolvimento Sustentável



Fonte: Roloff (2016)

Em 1991, a Agência Norte Americana (EPA - *Environmental Protection Agency*) criou um programa denominado “Rotas Sintéticas Alternativas para a Prevenção de Poluição”, o qual visava a proteção da saúde humana e do meio ambiente. A ação dele era baseada no financiamento de projetos de pesquisa que abordassem a prevenção de poluição em suas rotas sintéticas (Moreira, 2018). Dessa forma, o programa pode ser considerado um dos principais incentivadores para a corrida em busca do DS.

É neste contexto de busca pela sustentabilidade que surge a QV, definida por Anastas e Warner (1998, p. 11), 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”. A QV, portanto, surge como resposta para o enfrentamento dos problemas ambientais, podendo ser considerada uma Química para o ambiente, de acordo com Machado (2014).

Para Machado (2011, p. 535), “a emersão da QV foi impulsionada pelo

desenvolvimento de um certo número de atividades no âmbito da indústria química que conduziram a novas atitudes e conceitos”. Dentre os principais conceitos e atividades precursoras da QV estão: i) prevenção da poluição; ii) minimização de resíduos; iii) processos com mais segurança inerente; iv) cuidado responsável; v) design para o ambiente; vi) ecologia industrial e vii) economia atômica (Machado, 2011).

Para Anastas e Eghbali (2010), “a QV é caracterizada pelo planejamento cuidadoso da síntese Química e do *design* molecular para reduzir consequências adversas”. Os autores ainda destacam tópicos que são importantes e fornecem de maneira clara os principais objetivos da QV:

1. Química Verde projeta-se em todos os estágios do ciclo de vida químico; 2. A Química Verde procura conceber a natureza inerente dos produtos e processos químicos para reduzir o seu perigo intrínseco e 3. A Química Verde funciona como um sistema coeso de princípios ou critérios de design (Anastas e Eghbali, 2010, p. 301, tradução própria).

Machado (2011), ao estudar o surgimento e alguns avanços da Química Verde (QV) na indústria química, destaca que “a prática da QV na Indústria Química, em termos globais, é ainda algo incipiente e precisa ser desenvolvida, o que passa por lhe dar mais atenção no Ensino da Química” (Machado, 2011, p. 541). O autor ressalta que essa transição da Química Convencional para a QV é um processo árduo e desafiador, que exigirá um esforço contínuo ao longo de muitos anos. No entanto, investimentos recentes indicam um movimento significativo nessa direção. De acordo com uma pesquisa da Folha de S. Paulo (2024), a indústria química brasileira está projetando um investimento de mais de R\$15 bilhões em iniciativas voltadas para práticas sustentáveis, com foco na redução dos impactos ambientais. Embora esses números não signifiquem a completa superação da fase incipiente, apontam para um avanço importante e um compromisso crescente do setor com a sustentabilidade.

A QV, portanto, é uma resposta química que envolve agentes ambientais e governamentais, a fim de atentar-se para o impedimento do avanço para a insustentabilidade. É importante ressaltar que a QV ainda vem ganhando espaço, já que os estudos e pesquisas relacionadas com a temática mostram-se em grande crescimento e em diferentes áreas.

1.2.2 Os Princípios da Química Verde

A QV é baseada em 12 princípios que, quando colocados em prática, enfatizam e auxiliam de forma significativa na promoção da sustentabilidade. Abaixo, no Quadro 1.1, são apresentados os 12 princípios da QV (Anastas; Warner, 1998):

Quadro 1.1 - Os 12 princípios da Química Verde

Princípios	Descrição
P1. Prevenção	É mais barato evitar a formação de resíduos tóxicos do que tratá-los depois que eles são produzidos.
P2. Eficiência Atômica	As metodologias sintéticas devem ser desenvolvidas de modo a incorporar o maior número possível de átomos dos reagentes no produto final.
P3. Síntese Segura	Deve-se desenvolver metodologias sintéticas que utilizam e geram substâncias com pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente.
P4. Desenvolvimento de Produtos Seguros	Deve-se buscar o desenvolvimento de produtos que após realizarem a função desejada, não causem danos ao ambiente.
P5. Uso de Solventes e Auxiliares Seguros	A utilização de substâncias auxiliares como solventes, agentes de purificação e secantes precisa ser evitada ao máximo; quando inevitável a sua utilização, estas substâncias devem ser inócuas ou facilmente reutilizadas.
P6. Busca pela Eficiência de Energia	Os impactos ambientais e econômicos causados pela geração da energia utilizada em um processo químico precisam ser considerados. É necessário o desenvolvimento de processos que ocorram à temperatura e pressão ambientes.
P7. Uso de Fontes de Matéria-Prima Renováveis	O uso de biomassa como matéria-prima deve ser priorizado no desenvolvimento de novas tecnologias e processos.
P8. Evitar a Formação de Derivados	Processos que envolvem intermediários com grupos bloqueadores, proteção/desproteção, ou qualquer modificação temporária da molécula por processos físicos e/ou químicos devem ser evitados.
P9. Catálise	O uso de catalisadores (tão seletivos quanto possível) deve ser escolhido em substituição aos reagentes estequiométricos.
P10. Produtos Degradáveis	Os produtos químicos precisam ser projetados para a biocompatibilidade. Após sua utilização não deve permanecer no ambiente, degradando-se em produtos inócuos.
P11. Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição	O monitoramento e controle em tempo real, dentro do processo, deverá ser viabilizado. A possibilidade de formação de substâncias tóxicas deverá ser detectada antes de sua geração.
P12. Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes	A escolha das substâncias, bem como sua utilização em um processo químico, devem procurar a minimização do risco de acidentes, como vazamentos, incêndios e explosões.

Fonte: American Chemical Society (ACS), (2024)

Esses princípios podem ser aplicados em diversos setores, e sua adoção contribui para elevar o nível de sustentabilidade nos experimentos que os incorporam. O primeiro dos doze princípios da QV é a prevenção, que enfatiza a importância de evitar a geração de resíduos em vez de tratá-los após sua produção. Nesse contexto, é fundamental destacar a diferença na abordagem da Química Ambiental e da QV em relação a essa questão, pois, apesar da percepção comum de que ambas tratam do mesmo tema, os estudos de Roloff e Marques

(2018) apontam distinções significativas entre elas.

De acordo com Mozeto e Jardim (2002), a Química Ambiental pode ser definida como o estudo dos processos químicos que acontecem na natureza, sendo eles naturais ou resultados das ações humanas e que, de alguma forma, possam comprometer a saúde humana e o ambiente como um todo. Diferentemente da QV, que busca pensar e tratar dos processos químicos antes mesmo de eles serem executados, evitando assim apenas o tratamento, mas a prevenção.

Em seus estudos relacionados aos princípios da QV, Anastas e Eghbali (2010) afirmam que, pelo fato de os resíduos adquirirem diferentes formas, trazem como consequência diferentes impactos para o meio ambiente, os quais dependem da quantidade e dos níveis de toxicidade dos resíduos.

O princípio 2 (P2) da QV, aborda a eficiência ou a econômica atômica, um conceito importante para a QV, o qual foi introduzido no ano de 1991, por Barry Trost (1991). Esse conceito pode ser calculado através da divisão do peso molecular do produto desejado pelo obtido da soma das substâncias envolvidas em todas as equações envolvidas no processo, sendo essas equações estequiométricas (Lenardão, *et al.*, 2003). O P2, portanto, “refere-se ao conceito de maximizar o uso de matérias-primas para que o produto final contenha o número máximo de átomos dos reagentes. A reação ideal incorporaria todos os átomos dos reagentes” (Anastas e Eghbali, 2010, p. 303, tradução própria).

Os princípios 3 e 4 (P3 e P4) da QV podem ser considerados complementares, pois ambos estão diretamente relacionados à toxicidade dos reagentes, quanto ao desenvolvimento dos produtos que se envolvem em um determinado processo. Portanto, o P3 preconiza a escolha por reagentes mais seguros, ao invés de substâncias nocivas e prejudiciais à saúde e ao ambiente, evitando assim a produção e o uso de substâncias tóxicas em todo o ciclo de vida do produto químico, desde a sua fabricação até o seu descarte. O P4 está em nível de planejamento molecular, incentivando a projeção de produtos químicos, para que se degradem de forma eficiente após a sua utilização. De acordo com Costa (2018, p. 38), esses princípios são abordados “no sentido de reduzir o índice de toxicidade dos reagentes durante a síntese e os riscos de toxicidade dos produtos, assim como sua persistência na natureza”.

O princípio 5 (P5) da QV baseia-se nas substâncias denominadas auxiliares (solventes, agentes secantes, agentes de separação, etc.), que são normalmente empregados na maioria das preparações em nível industrial ou acadêmico. O princípio objetiva eliminar ou reduzir o uso dessas substâncias sempre que possível, pois apesar de serem necessárias em alguns processos químicos, podem ocasionar impactos significativos na saúde e no meio ambiente.

Por isso, a preferência deve ser dada à substituição dessas substâncias por alternativas menos perigosas ou ao redesenho dos processos para dispensar seu uso. Quando essas opções não forem viáveis, estratégias como a reciclagem, a recuperação e o tratamento adequado devem ser adotadas para minimizar os impactos ambientais.

O sexto princípio da QV está relacionado com a energia envolvida em processos químicos. Segundo Machado (2014), esse princípio pode ser chamado também de planificação para a eficiência energética. Para o autor, a eficiência energética está diretamente ligada à redução do uso de matérias-primas nos processos industriais, ou seja, a diminuição do consumo de recursos é a chave para promover esse princípio.

O sétimo princípio (P7) da QV enfatiza que, sempre que for possível, deve-se usar matérias-primas que sejam renováveis. Isso significa optar por materiais que provêm de fontes naturais e que podem se regenerar, como plantas e biomassa, ao invés de depender de recursos que não se renovam facilmente, como os fósseis. A ideia é usar materiais que possam ser renováveis ou que venham de fontes que não se esgotem, ajudando assim, a proteger o meio ambiente e tornar os processos químicos mais sustentáveis.

O oitavo princípio da QV (P8) é utilizado para evitar derivatização (uso de grupos bloqueadores, proteção/desproteção, modificação temporária por processos físicos e químicos), e é também um meio de minimização de etapas reacionais, as quais geram resíduos (Saqueto, 2015).

O nono princípio da QV (P9) é referente à utilização de catalisadores em substituição aos reagentes estequiométricos, sendo que esses catalisadores precisam ser os mais seletivos possíveis. Para Ramos (2009, p. 21), “o desenvolvimento, nos últimos anos, de catalisadores altamente seletivos e efetivos em transformações complexas e difíceis de serem previstas até então, aproximou-nos um pouco mais da chamada “síntese ideal”.” Anastas e Eghbali (2010, p. 307, tradução própria) afirmam que “a mudança de metodologias estequiométricas para processos catalíticos é vista como uma forma importante de melhorar a eficiência da caixa de ferramentas sintéticas”.

Os produtos degradáveis fazem parte do princípio 10 (P10) da QV, e não podem ser persistentes e nocivos quando entrarem em contato com a natureza. Em outras palavras, o P10, “aborda a questão da biodegradabilidade e biocompatibilidade, desenvolvendo a regra de não toxicidade” (Marcelino, 2020, p. 96). A busca por produtos biodegradáveis e por degradáveis não tóxicos, é uma tarefa difícil que requer muita pesquisa. Desde a concepção de um produto químico, é essencial avaliar as substâncias envolvidas, priorizando aquelas que se degradam de forma segura e eficiente.

O princípio 11 (P11), denominado Análise em tempo real para prevenção, refere-se à viabilização de monitoramentos contínuos nos processos químicos. Essa ação auxilia na prevenção da formação de substâncias tóxicas, pois permite que sejam detectadas com antecedência, ou seja, antes da sua formação. Já o princípio 12 (P12), chamado Química segura, é o último princípio abordado, mas não o menos importante, pois destaca a responsabilidade dos químicos em utilizar práticas que minimizem os riscos de acidentes químicos, sejam eles de pequena ou grande escala. A aplicação constante desses métodos é indispensável para garantir maior segurança nos processos e proteger os profissionais envolvidos.

Cada um dos princípios possui uma contribuição significativa na QV, e é importante ressaltar que um princípio não é mais importante que outro, mas, de alguma forma se relacionam e se complementam. Diante disso, torna-se ainda mais evidente a importância de buscar a aplicação do maior número possível de princípios em um processo químico. No entanto, é fundamental reconhecer que alcançar todos os princípios de forma integral é um desafio considerável, tornando utópica a expectativa de um processo 100% verde. Por essa razão, o foco está na minimização dos impactos ambientais, considerando as limitações práticas entre os diferentes princípios da QV.

1.3 ENSINO DE QUÍMICA VERDE

Desde o surgimento da QV na década de 90, muitos autores, sejam eles nacionais ou internacionais, têm somado esforços para reivindicar que os princípios sejam inseridos em cursos de formação de profissionais da Química, em diferentes níveis de ensino (Yunes; Marques, 2023; Sandri *et al.*, 2023). De acordo com Anastas e Kirchhoff (2002), os estudantes de todos os níveis de ensino precisam ser introduzidos na prática e na filosofia da QV, e principalmente os químicos atuais e os do futuro precisam ser treinados para projetarem produtos e processos com maior consciência dos impactos ambientais.

O EQV busca integrar conceitos de sustentabilidade no currículo de Química, com o objetivo de desenvolver uma consciência crítica sobre os impactos ambientais e sociais associados às práticas químicas. A abordagem educativa da QV ultrapassa as fronteiras do ensino tradicional, promovendo práticas eficientes e seguras. A inclusão dos conteúdos de QV e DS no Ensino de Química representa um desafio significativo, mas é uma necessidade para a formação de cidadãos mais conscientes e responsáveis.

De acordo com Melo e Souza (2022), ainda há uma falta de conhecimento sobre QV

tanto por parte dos alunos quanto dos professores, apesar da existência de diversos conteúdos ambientais que poderiam ser abordados em sala de aula. Isso se deve, em parte, à percepção equivocada de que a QV está resumida apenas aos 12 princípios, muitas vezes deixando de lado uma compreensão mais ampla e integrada que envolve práticas sustentáveis e a aplicação de conceitos ambientais em diferentes contextos relacionados à Química.

A integração desses conteúdos no Ensino de Química é, portanto, insuficiente. Melo e Souza (2022) destacam que o EQV deve transcender os conceitos teóricos, incluindo também o desenvolvimento de procedimentos e atitudes. Esse enfoque é importante para proporcionar uma formação completa, capacitando assim os indivíduos a enfrentar e resolver problemas cotidianos em diferentes contextos.

Burmeister *et al.* (2012) destacam que a aprendizagem de teorias e conceitos químicos, por si só, não é suficiente para desenvolver nos alunos as competências necessárias para lidar com questões relacionadas ao desenvolvimento sustentável. Além disso, o Ensino de Química possui um grande potencial para aprimorar as competências gerais dos estudantes, especialmente por meio da aprendizagem participativa. Ao utilizar questões extraídas diretamente de contextos químicos, os alunos conseguem compreender melhor como a ciência e a tecnologia são discutidas e aplicadas na sociedade.

Zuin *et al.* (2021) enfatizam a importância da QV e a entendem como um conceito crítico para a implementação dos ODS. Eles ainda destacam que é fundamental a formação de profissionais especializados que consigam lidar com as complexidades da Química e do DS, e que a abordagem da QV e da Química Sustentável precisa ser fundamentada, contextualizada e multidisciplinar. É extremamente importante a cooperação entre governantes, cientistas, professores e até mesmo do setor privado para que uma Educação voltada para a Sustentabilidade seja alcançada. Goes *et al.* (2013), por sua vez, destacam que:

A importância da QV no atual cenário do desenvolvimento mundial não pode ser minimizada. A demanda por profissionais capacitados nas diversas áreas da química tende a crescer, e para que sejam protagonistas do processo de crescimento sustentável, sua capacitação deve incluir a incorporação da QV como parte indissociável de sua prática profissional. Isso somente será possível com a difusão da QV nas diversas instâncias da formação de químicos, professores de química e engenheiros químicos (Goes *et al.*, 2013, p. 115).

Andrade e Zuin (2021), ao trabalharem com os Princípios da Educação em Química Verde (PEQV) em propostas experimentais, entenderam que ainda há um caminho a ser percorrido quando se trata do EQV para o DS de forma transversal no currículo para a formação de profissionais da Química, como é o caso dos professores. Pitanga (2016, p. 152), por sua vez, considera que “os currículos que contemplem os ensinamentos baseados nos

princípios da QV buscaram a compreensão ampliada dos impactos causados pela Química, deixando as lacunas existentes entre a sala de aula e o ambiente global.”.

A inserção da QV nos currículos e na educação, de modo geral, ainda é bastante limitada. Um estudo realizado por Gomes *et al.* (2022), ao analisar 70 cursos de Licenciatura em Química de Institutos Federais quanto à presença dos conceitos de QV, revelou que apenas um desses cursos oferece a QV como disciplina opcional. Além disso, a temática surge como tópico em outras disciplinas em apenas 15 cursos, um número consideravelmente baixo. Em contraste, a disciplina de Química Ambiental está presente em 62 dos 70 cursos investigados, evidenciando uma diferença significativa na abordagem desses temas.

Os autores Almeida *et al.* (2019, p. 185) destacam que “as disciplinas que envolvem QV ou os cursos de licenciatura que ofertam essa disciplina separadamente são extremamente escassas no país”. Os autores chegaram nessa conclusão, após realizarem um mapeamento em nível nacional sobre a QV nos cursos de Licenciatura em Química em Universidades Estaduais e Federais. Os resultados da pesquisa apontam que das cinco regiões do Brasil, as regiões Norte e Centro-Oeste não possuem nenhuma disciplina de QV ou que a relacionam em algum tópico; na região Nordeste ela aparece de alguma forma, correspondendo a 3% dos cursos; no Sul em 4%, e, liderando o ranking; a região Sudeste apresenta o maior percentual (29%).

Uma pesquisa foi realizada recentemente por Vaz *et al.* (2024), a qual foi embasada no levantamento de dados coletados entre abril e agosto de 2022, a fim de verificar quantas e quais são as instituições de ensino brasileiras que trabalham em seus cursos de disciplinas relacionadas à QV. Na pesquisa foram analisadas 370 instituições de ensino, e apenas em 40 delas (10,8%), tinham componentes curriculares exclusivos para a abordagem da QV. Em 59 instituições (15,9%), a QV é abordada, mas não de forma exclusiva. O maior percentual de instituições que ministram as disciplinas de QV, equivalente a 63%, são públicas e federais, e a região que mais tem percentual é a Sudeste, totalizando 48,2%. Em relação à obrigatoriedade da disciplina, 64,8% das instituições que trabalham com exclusividade a QV, oferecem-na de maneira optativa.

As disciplinas de QV são abordadas na maioria das vezes de forma teórica, totalizando 61,1%, e sendo a maioria delas abordada na pós-graduação (31,48%). A análise realizada em território nacional deixa evidente que os cursos de Química não abordam os conceitos de QV de maneira significativa. É notório, com base nos resultados obtidos na pesquisa de Vaz *et al.* (2024), que ainda há um longo e árduo caminho a ser percorrido, para que haja, de fato, a incorporação da QV, nos currículos de professores e demais profissionais de Química no país.

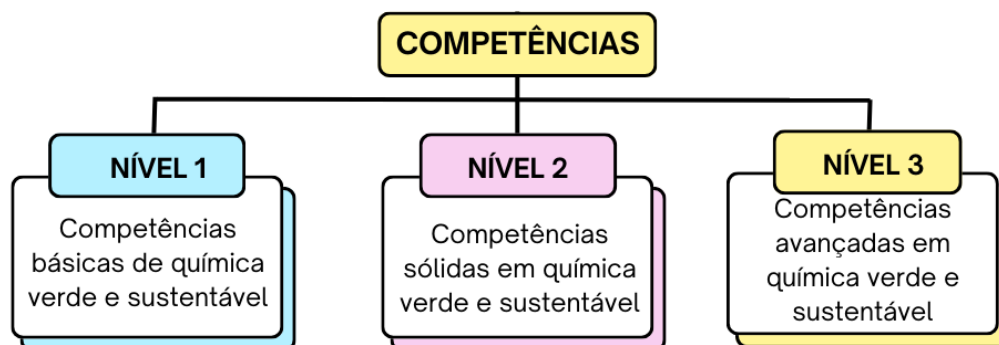
Para Yunes e Marques (2023), existem diversos argumentos que defendem a inclusão da QV no Ensino de Química, formando os químicos para lidar com suas responsabilidades, como por exemplo em: i) lidar com a poluição; ii) comunicar a comunidade sobre suas pesquisas; iii) participar da construção de currículos de Ensino de Química; iv) apresentar uma nova forma de relacionamento da Química com o ambiente; v) desenvolver uma prática química mais segura para alunos e educadores; vi) enquadrar a inovação e criatividade a partir de valores ambientais e vii) abordar a crise ambiental e promover a sustentabilidade. Yunes e Marques (2023) ainda destacam que:

Esses argumentos podem ser enxergados do ponto de vista da formação do profissional da Química (bacharéis, licenciados e tecnólogos), mas também da formação do cidadão não cientista. Na formação do Químico, a educação em QV pode contribuir diretamente para o desenvolvimento da sua prática. Já na formação do cidadão leigo, a QV fornece instrumentos teóricos para que ele possa entender o mundo, engajar-se ativamente na discussão de assuntos de seu interesse e participar dos processos de tomada de decisão (Yunes e Marques, 2023, p.7).

De acordo com o documento da *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2023), a transformação para uma Química Sustentável requer o envolvimento, a ação e a sensibilização de muitas pessoas. Para que essa mudança ocorra, é necessário também contar com instituições eficazes. Algumas abordagens, como o pensamento sistêmico, que envolve uma visão expandida, podem auxiliar os educadores a apresentar a Química de forma crítica, incentivando os alunos a refletirem sobre os desafios globais e as questões relacionadas ao DS (UNEP, 2023).

Para a UNEP (2023), o público-alvo para um aprendizado aprofundado em QV são discentes de graduação e pós-graduação em Química e áreas afins. No entanto, é igualmente importante educar estudantes de escolas primárias e secundárias, despertando seu interesse e motivação para que possam explorar a Química como ferramenta para o alcance do DS, além de formar cidadãos mais conscientes sobre a importância da sustentabilidade. Para uma intervenção eficaz em aprendizagem de QV, pode-se seguir dois passos: i) identificar oportunidades e necessidades de aprendizagem para grupos-alvo específicos e ii) determinar o nível de competência desejado para os grupos-alvo desejados. Além dos passos que auxiliam nessa intervenção, a Figura 1.2, mostra diferentes tipos de competências, divididas em níveis diferentes, que podem ser alcançadas pelos estudantes.

Figura 1.2 - Diferentes níveis de competências de aprendizagem em QV.



Fonte: O Autor (2024).

No nível 1 os alunos são capazes de levantar discussões acerca de aspectos tecnológicos específicos da QV e dos perigos químicos, sendo possível a utilização de diferentes referências e recursos que auxiliem nas inovações da QV. Aqui eles possuem o conhecimento básico sobre os produtos químicos que são nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, além de conseguir identificá-los.

No nível 2, além das competências do nível 1, os alunos adquirem um conhecimento sólido sobre os produtos químicos e sobre sua presença no meio ambiente, além das estruturas de classificação correspondentes. Aqui eles adquirem e são capazes de debater sobre os conhecimentos relacionados à economia verde. No nível 3 encontram-se as competências mais avançadas em QV, no qual os alunos possuem capacidades avançadas, como moldar a inovação Química para enfrentar os desafios da sustentabilidade, além de projetar produtos químicos, sínteses e processos mais verdes (UNEP, 2023).

Todavia, na realização do EQV, muitos debates têm sido feitos, e costumam ser apresentados na forma de modelos de EQV, os quais partem de modelos mais simples em direção a um modelo mais abrangente. Considerando a importância de uma abordagem crítica e integrada no EQV, o próximo tópico abordará o Ensino Integrado em CTS, destacando sua relevância para a prática educativa e sua potencial contribuição para o desenvolvimento de um EQV mais reflexivo e contextualizado.

1.4 O ENSINO DE QUÍMICA VERDE ATRAVÉS DE UMA ABORDAGEM CTS

A integração da QV com a abordagem CTS no ensino de Química representa uma estratégia promissora para enfrentar os desafios socioambientais contemporâneos. O movimento CTS emergiu em resposta às transformações sociais e ambientais impulsionadas

pelo rápido desenvolvimento científico-tecnológico, especialmente após a Segunda Guerra Mundial, reconhecendo que o avanço da ciência e da tecnologia não trouxe necessariamente o bem-estar social esperado (Sandri, 2016).

O EQV, quando integrado à abordagem CTS, pode ser uma estratégia promissora para enfrentar os desafios sociais e ambientais da atualidade. Essa abordagem exige dos estudantes um senso crítico e contextualizado da QV, aliado aos princípios científicos e tecnológicos, a fim de compreender as práticas químicas contemporâneas. Essa perspectiva contribui para uma formação cidadã mais ampla, como apontam Rodríguez e Del Pino (2019), ao promoverem estratégias que integram a abordagem CTS.

Para Rodríguez e Del Pino (2019), o enfoque CTS promove diferentes estratégias no campo da Educação Científica, auxiliando no melhoramento da formação cidadã e promovendo uma visão abrangente e adequada sobre a tecnologia e a Ciência. Essa abordagem está associada ao desenvolvimento do pensamento crítico e à tomada de decisões, favorecendo o progresso de uma sociedade democrática e preparando os cidadãos para se posicionarem frente aos impactos do avanço tecnocientífico, especialmente em situações de desenvolvimento descontrolado. Dessa forma, o enfoque CTS exige que o ensino esteja alinhado à realidade dos estudantes, permitindo abordar questões relevantes, como os desafios ambientais.

Além disso, a abordagem CTS aplicada ao ensino da QV, promove a interdisciplinaridade, permitindo que conteúdos de diferentes áreas do conhecimento se relacionem para abordar problemáticas locais e globais onde a ciência e a tecnologia têm grande influência (Rodríguez; Del Pino, 2019). Essa perspectiva exige mudanças curriculares que rompam com métodos tradicionalistas e conteudistas, promovendo uma educação científica mais crítica e contextualizada (Pereira, 2018).

No entanto, é necessário incorporar essa perspectiva nos currículos, com o objetivo de promover a alfabetização científico-tecnológica, preparando cidadãos capazes de compreender e analisar criticamente discursos que supervalorizam a Ciência (Tasso, 2018). Rodríguez e Del Pino (2019) defendem que currículos orientados pela perspectiva CTS, ao demandarem uma abordagem interdisciplinar, facilitam sua implementação, pois temas sociais e conceitos de diferentes áreas tendem a emergir de maneira integrada ao longo do processo, favorecendo conexões entre os conteúdos.

No entanto, estudos indicam que, apesar do potencial da integração entre QV e CTS, ainda há desafios a serem superados, por exemplo, Melo e Souza (2022) destacam que muitas estratégias didáticas não utilizam todas as abordagens da QV, sendo comuns apenas

experimentos ilustrativos, o que limita o desenvolvimento de uma formação cidadã plena. Além disso, a formação docente ainda carece de disciplinas específicas sobre QV, o que dificulta a implementação efetiva dessa integração no ensino de Química.

A abordagem CTS, ao enfatizar o desenvolvimento do pensamento crítico, a contextualização dos conteúdos e a reflexão sobre os impactos sociais e ambientais da Ciência e da Tecnologia, dialoga diretamente com os modelos 2 e 3 da QV, propostos por Sandri e Santin Filho (2019). O modelo 2 destaca a necessidade de incorporar a dimensão socioambiental no ensino da Química, promovendo uma visão crítica sobre os impactos das atividades químicas na sociedade e no meio ambiente. Já o modelo 3 amplia essa perspectiva, incluindo uma abordagem transformadora que busca a formação de cidadãos engajados na promoção da sustentabilidade e na mudança das práticas químicas convencionais. Essa relação entre a QV e a abordagem CTS pode ser melhor compreendida quando analisados os modelos de abordagem da QV, os quais serão apresentados detalhadamente no Capítulo 2 desta dissertação.

Tais modelos exigem não apenas a compreensão técnica dos conceitos de QV, mas também a inserção de debates sobre escolhas químicas mais sustentáveis, considerando fatores sociais, éticos e ambientais. Dessa forma, ao integrar o enfoque CTS no ensino de QV, favorece-se a construção de propostas didáticas que se afastam da abordagem puramente técnica (modelo 1) e avançam em direção a perspectivas que envolvem os alunos em processos de tomada de decisão e de análise crítica dos impactos da Química no mundo contemporâneo.

Nesse sentido, a educação CTS, quando incorporada ao EQV, não apenas promove uma compreensão científica mais ampla, mas também potencializa o desenvolvimento de competências cidadãs, fundamentais para os desafios do século XXI. Como apontam Rodríguez e Del Pino (2019), o enfoque CTS exige abordagens interdisciplinares e significativas, nas quais os alunos compreendem a ciência como parte de um sistema maior, que inclui valores, cultura, política e economia. Assim, a articulação entre QV e CTS não apenas enriquece as práticas pedagógicas, mas também aponta caminhos possíveis para uma formação química mais reflexiva, ética e comprometida com a sustentabilidade.

Por fim, a educação atual exige que a aprendizagem supere a simples transmissão dos conteúdos curriculares, promovendo uma integração com o raciocínio crítico, especialmente na perspectiva CTS (Souza, 2020). Portanto, é fundamental que o ensino de Química incorpore a abordagem CTS integrada à QV, promovendo uma educação científica que desenvolva o pensamento crítico e a capacidade dos estudantes de se posicionarem frente aos

impactos do avanço tecnocientífico, especialmente em situações de desenvolvimento descontrolado (Rodríguez; Del Pino, 2019).

Considerando o panorama apresentado sobre a QV, sua inserção no ensino e os desafios para sua consolidação como temática educacional, faz-se necessário aprofundar a compreensão sobre os diferentes modelos de abordagem que orientam a sua implementação. Nesse sentido, o próximo capítulo apresenta os principais referenciais teóricos utilizados na análise desta pesquisa, com foco nos modelos de abordagem da QV que fundamentaram o processo de categorização das propostas didáticas analisadas.

CAPÍTULO 2

OS MODELOS DE ABORDAGEM DA QUÍMICA VERDE

O presente capítulo é dedicado aos modelos de abordagem da QV, sendo um dos parâmetros essenciais para a análise das propostas didáticas que serão apresentadas nos resultados e discussões desta pesquisa. Para entender e analisar como a QV vem sendo inserida no Ensino de Química, é importante dispor de referenciais teóricos que auxiliem na categorização e interpretação de diferentes estratégias adotadas.

Os modelos de abordagem dispõem de critérios que permitem estruturar ou classificar propostas didáticas, para abordagem em diferentes tipos de contextos educacionais. É importante ressaltar que apesar dos modelos possuírem uma ligação entre si, cada um deles apresenta um olhar específico em relação ao EQV. Alguns possuem seus vieses voltados para uma aplicação considerada mais técnica baseada nos 12 princípios, enquanto outros procuram alcançar um nível mais crítico e reflexivo.

2.1 MODELOS DE SJÖSTRÖM E TALANQUER

Antes de adentrar os modelos especificamente voltados para o EQV, é necessário apresentar o modelo proposto por Sjöström e Talanquer (2014), o qual, embora não tenha sido desenvolvido com foco exclusivo na QV, oferece uma base conceitual importante para compreender as diferentes posturas e intenções educativas no Ensino de Química como um todo.

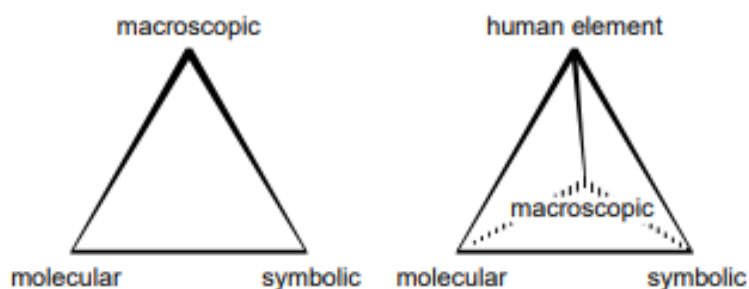
O Ensino de Química, em sua forma tradicional, pouco se relaciona com questões cotidianas, como tecnologia, sociedade, meio ambiente, ética, história e filosofia da Ciência, entre outras áreas que poderiam contribuir para uma formação mais crítica e contextualizada dos estudantes. Essas abordagens contribuem de forma significativa para que o professor de química humanista (e crítico reflexivo) possa discutir diferentes tópicos e contextos de abordagens humanísticas no Ensino de Química (Sjöström; Talanquer, 2014). Ainda em consonância com as concepções dos autores, esse tipo de professor, atenta-se não apenas na transmissão dos conhecimentos químicos, mas busca desenvolver uma compreensão mais abrangente sobre como a Química se relaciona com o mundo e como ela influencia as questões sociais, ambientais e culturais.

De acordo com Sjöstrom e Talanquer (2014), a abordagem humanística varia entre simples contextualizações e orientações sociocientíficas até as problematizações

multifacetadas, sendo essa última uma das mais importantes para que seja alcançado um ensino crítico de Química. Com os seus modelos de abordagens, os autores buscam ilustrar o conhecimento através de diferentes facetas do conhecimento da Química para o ensino. Essas ações caracterizam-se em níveis diferentes de complexidade, objetivando integrar no Ensino de Química o elemento humano (Sjöström; Talanquer, 2014).

A ideia de criação de modelos de abordagens ou quadros teóricos que objetivam integrar e destacar componentes humanísticos e sociais no Ensino de Química não é recente. Mahaffy (2004; 2006), em seu modelo, sugeriu um tetraedro químico para ampliar as ideias do triângulo de Johnstone (1993; 2010) em sua base. A Figura 2.1, apresenta o triângulo de Johnstone e seus níveis de representação do conhecimento químico.

Figura 2.1 - Modelo de Johnstone para os níveis do conhecimento químico



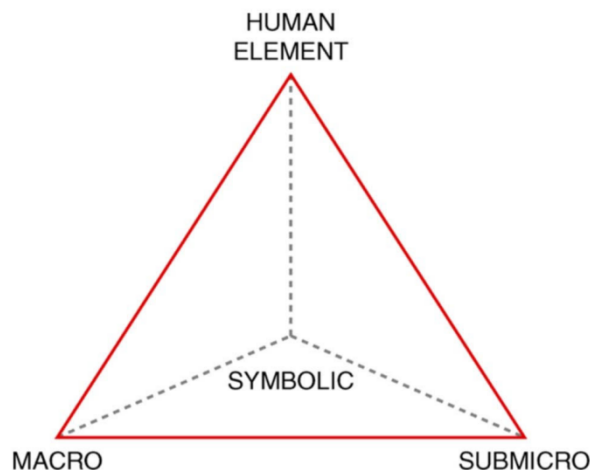
Fonte: Fonte: Mahaffy (2006)

O triângulo representado na Figura 2.1 aborda a formalidade do Ensino de Química em aspectos diferentes, sendo o macro (macroscópico) o que procura analisar o comportamento das substâncias químicas. Já o submicro (submicroscópico) tem como objetivo entender e explicar os fenômenos químicos e suas propriedades. O *symbolic* (simbólico) possui o propósito de representar os conceitos e ideias químicas e, por fim, no topo do modelo encontra-se *human element* (elemento humano), reforçando a ideia de integração do humanístico e do social.

A educação tetraédrica de Mahaffy (2006), representada na Figura 2.2, enfatiza a importância de conectar a Química com as experiências dos estudantes. O tetraedro fornece uma estrutura que ancora as dimensões macroscópicas, molecular e simbólica, relacionadas ao currículo de Química, o qual aborda problemas e soluções do “mundo real”, inclusive processos industriais e aplicações ambientais. É dado ênfase também ao elemento humano, que ocupa o topo do tetraedro, o qual enfatiza e justifica fortemente o aprendizado ativo, os

estudos de casos e os projetos investigativos, ligando a Química escolar à vida cotidiana (Mahaffy, 2006).

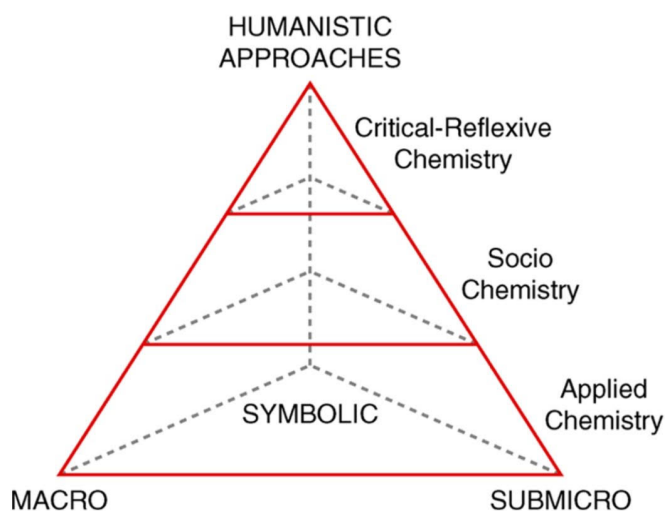
Figura 2.2 - Tetraedro de Mahaffy na Educação Química



Fonte: Sjöström e Talanquer (2014)

Sjöström propôs uma ampliação no tetraedro de Mahaffy (2006), o qual foi denominado como tetraedro enriquecido, sendo complementado com diferentes níveis de complexidade na análise de aspectos humanísticos no Ensino de Química (Sjöström; Talanquer, 2014). Dentre as divisões propostas, estão i) Química Pura; ii) Química Aplicada; iii) Sócio-Química e iv) Química Crítico Reflexiva. Essas propostas são, na verdade, diferentes níveis que Sjöström acrescenta ao tetraedro de Mahaffy. Na Figura 2.3 observamos o Tetraedro de Sjöström sendo a Química Pura o nível 0, ou seja o mais baixo da pirâmide, a Química Aplicada o nível 1, que em relação ao primeiro é mais complexo e ocuparia uma posição mais alta na pirâmide, a Sócio-Química seria o nível 2 sendo ele mais complexo que o nível 1 e a Química Crítico Reflexiva o nível três, sendo o nível 3 mais complexo que o 2.

Figura 2.3 - Tetraedro de Sjöström incluindo diferentes níveis de complexidade.



Fonte: Sjöström e Talanquer (2014).

O nível 0, denominado Química Pura, concentra-se no desenvolvimento do conhecimento básico e disciplinar essencial para o ensino e a aprendizagem da Química. Nessa abordagem, há uma ênfase na manipulação de símbolos e fórmulas, com raciocínio baseado em regras, caracterizando o enfoque tradicional dos programas de Química. Para Del Pino e Frison (2011), o Ensino de Química tradicional resulta de um processo histórico de repetições, definições e classificações, que, embora eficiente para a memorização de informações, negligencia os fenômenos reais ao adotar uma perspectiva excessivamente formal. É importante destacar que esse nível 0 não está representado na pirâmide de modelos de ensino da Química, sendo um referencial externo que antecede e contextualiza os níveis posteriores.

Alguns autores utilizaram o tetraedro de Sjöström e Talanquer (2014), em suas pesquisas, a fim de identificar diferentes níveis de complexidade. Marcelino (2020), em sua pesquisa de doutorado, aborda esses níveis de complexidade, promovendo uma discussão sobre o papel do elemento humano no conhecimento escolar. De acordo com o autor, o tetraedro é capaz de indicar em que nível de profundidade os conteúdos de Química podem ser abordados e trabalhados com os educandos.

De acordo com Sjöström e Talanquer (2014), o primeiro nível é denominado Química Aplicada e caracteriza-se pela introdução de aspectos humanos em abordagens presentes no Ensino de Química. Esse tem por enfoque o ensino na análise e discussão das experiências reais, e na transversalidade entre as questões sociais e ambientais. Esse nível destaca-se pelo uso de situações cotidianas e pela exploração de diferentes contextos nos quais a Química é aplicada, tornando o ensino mais relevante e conectado à realidade dos alunos.

Segundo Sjöström e Talanquer (2014), a Sócioquímica corresponde ao nível 2, que sucede o da Química Aplicada, apresentando uma maior complexidade em relação ao nível anterior. Esse nível tem como foco a compreensão do desenvolvimento histórico e social da Química, bem como a aplicação prática dos conhecimentos químicos, buscando estabelecer conexões entre esses saberes, o contexto de trabalho e as ideias científicas. Nessa perspectiva, compreende-se que a Sócioquímica não apenas aplica conceitos químicos, mas também explora suas interações com a sociedade e o ambiente, promovendo uma visão mais holística da ciência, o que a aproxima da abordagem CTS.

O nível da Sócioquímica pode estar diretamente relacionado aos esforços educacionais ligados ao EQV, ou seja, diferentes estratégias em diversos níveis de ensino para a abordagem dessa temática. Marcelino (2020), em sua tese de doutorado, realiza uma análise relacionando

o EQV e o tetraedro de Sjöström. De acordo com o pesquisador, um primeiro estrato da pirâmide (tetraedro) está associado à Química aplicada, caracterizando uma abordagem prática e instrumental, vinculada principalmente à produção industrial e à aplicação técnica. O nível refere-se a uma aplicação direta da Química, e, portanto, não consegue ensinar a QV, ou seja, o intuito não é aprender a fazer QV, mas informar-se que ela existe como uma aplicação da Química (Marcelino, 2020).

O nível intermediário, de acordo com Sjöström e Talanquer (2014), traz a relação entre a Química e os fatores humanos, denominado como Socioquímica, abordando os conhecimentos sistêmicos da Química. Ao se tratar da Socioquímica Verde são abordadas questões relacionadas ao caráter social da QV, bem como as problemáticas que contribuíram para a emergência da mesma e como seus princípios respondem a esses problemas.

A parte superior do tetraedro é composta pela Química Crítico- Reflexiva, na qual o objetivo é envolver os estudantes em uma análise reflexiva de perspectivas históricas, filosóficas, sociológicas e culturais, bem como em ações crítico-democráticas apresentadas para a justiça ambiental (Sjöström; Talanquer, 2014).

A QV no nível Crítico-Reflexivo, de acordo com Marcelino (2020), analisa os valores que fundamentam as escolhas por determinadas linhas de pesquisa ou criticam as pressuposições da QV. Aqui, discute-se também a contradição entre o modelo econômico atual e o ambiente. Nessas duas últimas abordagens mais abrangentes, o EQV efetiva-se na prática e potencializa a Química para que se torne compromissada com a sustentabilidade.

Essa estrutura hierárquica auxilia de forma significativa a integração da QV de forma mais abrangente no currículo de Química, o qual estimula os estudantes a aprenderem além das técnicas e teorias, aumentando assim a consciência sobre as decisões científicas e industriais, no que tange a sociedade e o meio ambiente. Esse pensamento crítico e responsável é essencial para o enfrentamento de questões globais, fundamentando assim as ações de forma ética nos princípios da sustentabilidade.

Além disso, a pesquisadora Bouzon (2022), durante seu doutorado, criou e aplicou uma disciplina para a abordagem dos conceitos de QV em um curso de Especialização em Ensino de Química. Ao final das aulas, os alunos elaboraram propostas para a inserção dos conceitos de QV no Ensino Básico, utilizando uma abordagem CTS. Para analisar essas propostas com maior profundidade, Bouzon as categorizou com base nos princípios do tetraedro de Sjöström e Talanquer (2014) e também nos estudos de Marcelino (2020), considerando todos os níveis presentes no modelo. Esses trabalhos evidenciam a importância

do tetraedro tanto para atividades práticas quanto para a categorização de propostas educacionais.

2.2 MODELOS DE BURMEISTER E COLABORADORES

Os anos de 2005 a 2014 ficaram conhecidos como a Década Mundial da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (DESD). A DESD objetivava promover a educação como uma ferramenta fundamental na preparação de jovens, para que eles pudessem de forma responsável, moldar a sociedade de maneira sustentável, sendo uma responsabilidade de todos os níveis e domínios educativos, incluindo a Química (Burmeister *et al.*, 2012). É importante ressaltar que nessa seção, foi utilizado o referencial teórico de Burmeister *et al.* (2012), para a escrita do tópico.

Em 1992, no Rio de Janeiro, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (UNCED), que estabeleceu a EDS, tema esse que faz parte da Agenda 21¹. A educação, por meio da Agenda 21, é entendida como uma ferramenta potencializadora da sociedade e do ser humano, sendo fundamental para a promoção do DS e melhoria das habilidades das pessoas em abordarem as questões ambientais e de desenvolvimento, seja na educação formal ou informal (Burmeister *et al.*, 2012).

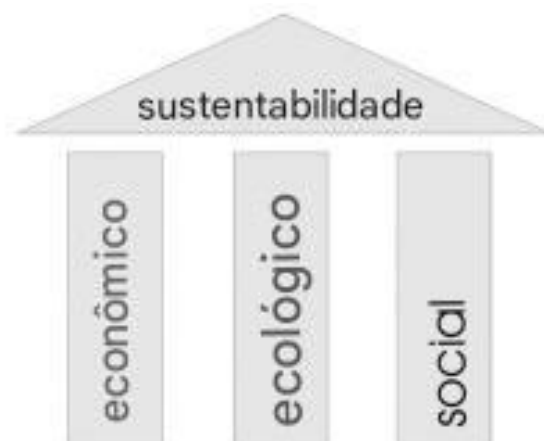
De acordo com Burmeister *et al.* (2012), a EDS exige uma abordagem integral de questões sociais relevantes, tratadas de forma multidimensional, considerando fatores que precedem e contribuem para essas problemáticas, os quais podem, em parte, ser decorrentes das práticas e aplicações da própria Química. Os impactos na economia, na ecologia e na sociedade como um todo, podem ser enfrentados através do Ensino de Química, quando estiverem alicerçados nos princípios da EDS. O processo de busca pela sustentabilidade, é acompanhado pelo crescente e consciente aumento de responsabilidade da humanidade, viabilizando assim que as futuras gerações possam viver em um ambiente preservado, e que forneça condições de avanço e prosperidade (Burmeister *et al.*, 2012).

Todos os campos do conhecimento acadêmico podem levantar abordagens centradas no DS, o que contribuiu para a criação de um modelo comum de sustentabilidade composto por três pilares: economia, ecologia e sociedade. Assim, os modelos de sustentabilidade

¹A Agenda 21 é um plano de ação abrangente para o desenvolvimento sustentável, elaborado durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ECO-92), realizada no Rio de Janeiro em 1992.

buscam promover um debate contínuo, considerando a cultura como uma dimensão adicional. A Figura 2.4, a seguir, ilustra os três pilares da sustentabilidade.

Figura 2.4 - Os três pilares modelo da sustentabilidade.



Fonte: Burmeister, *et al* (2012).

O modelo da Figura 2.4, que mostra os diferentes pilares, é ainda questionável, pois pode apresentar uma base insuficiente no que tange às questões educacionais. Além dos modelos de DS, existem também os modelos de EDS que sugerem um direcionamento integral sobre as questões ambientais, mediante as perspectivas interdisciplinares e mudanças na pedagogia, que vão além da reestruturação dos currículos (Burmeister *et al.*, 2012). Para os autores, a EDS utiliza o DS como uma ideia normativa, implicando contradições inerentes, além de objetivos contraditórios e dilemas. Esta condição pode ser entendida como um grande desafio, mas com um potencial considerável, auxiliando para a melhora e desenvolvimento inovador na educação. Portanto, a EDS deve ser uma comunidade formada por alunos, estudantes, professores e pesquisadores que tenham uma visão ampla, a fim de identificarem e entenderem os tópicos da EDS voltados para o Ensino de Química, contribuindo assim nas ações e intervenções necessárias.

O entendimento necessário da Química e da tecnologia, no que diz respeito ao desenvolvimento químico e industrial, é insuficiente para justificar o papel da educação química na EDS. A aprendizagem de teorias e fatos dos conceitos modernos da Educação Química não capacitam os alunos para a abordagem de questões de DS até o nível necessário, sendo então viável no Ensino de Química uma abordagem multidimensional e orientada para a sociedade. Nos currículos de Química, questões sobre o DS vêm sendo adicionadas há algum tempo, e podem aparecer de formas diferentes, seguindo diferentes modelos que se sobrepõem e se integram de diversas formas. É neste contexto que Burmeister *et al.* (2012)

apresentam quatro diferentes modelos que visam implementar na educação formal de Química questões de DS.

O primeiro modelo (modelo 1) trata-se da aplicação da QV no manuseio correto de produtos químicos, bem como a responsabilidade de manuseio em aulas práticas de Química. Para que a EDS seja alcançada com auxílio do modelo 1, é necessário que os alunos, em diferentes níveis e contextos do Ensino de Química, sejam capazes de realizarem as alterações necessárias em sua prática, seguindo os princípios da QV e indo em busca da sustentabilidade. Uma das principais intenções dessa primeira abordagem é a de explorar a contribuição que o Ensino de Química pode oferecer na busca pela sustentabilidade, principalmente no que diz respeito à redução de resíduos tóxicos. É importante ressaltar que essa abordagem inicial ainda não alcança de forma precisa e abrangente a EDS, pois na prática ainda se distancia da reflexão crítica do aluno em relação à sociedade, tecnologia e mudanças do mundo contemporâneo.

Os conceitos que são incluídos no Ensino de Química, apesar de não ser uma tarefa fácil, são uma estratégia para o desenvolvimento da sustentabilidade, sendo esse o objetivo do (modelo 2), segundo modelo de abordagem de Burmeister *et al.* (2012). Nesta abordagem os princípios da QV encontram-se nos currículos de Química, assim como a sua aplicabilidade na indústria. Algumas situações do cotidiano podem exemplificar com coerência a inserção desse modelo em práticas eficientes, como a busca e o desenvolvimento de energia limpa, a conservação de matérias-primas e a utilização de fontes renováveis de recursos naturais, entre outros. Além dos princípios da QV, esse modelo foca na investigação química para o alcance do DS, sendo essa ação uma das bases para o avanço no entendimento de áreas abrangentes. Formular os conteúdos que são fundamentais para a Química e baseados na sustentabilidade é o passo inicial para que os alunos possam levantar debates e reflexões críticas acerca das questões sustentáveis presentes na química atual.

O terceiro modelo (modelo 3) tenta integrar questões sócio científicas na aprendizagem e Ensino de Química. É neste contexto que essa abordagem busca a modelagem da EDS, formando assim indivíduos socialmente responsáveis ao adquirirem competências educativas que os tornem capazes de promover ações em diferentes áreas do conhecimento. O modelo três busca a compreensão de como o avanço e desenvolvimento da Química são realmente entendidos e discutidos no âmbito social, avaliando assim as dimensões alcançadas da sustentabilidade. É importante enfatizar que o modelo não se preocupa apenas com uma aprendizagem tradicional dos conteúdos ou da área Química, mas de como ela é vista na sociedade. É desta forma que os alunos adquirem competências com foco na EDS, sendo

capazes de tomar decisões e levantar debates sociais críticos, e contribuindo para a modelagem de um futuro democraticamente sustentável.

O quarto e último modelo (modelo 4), apresentado por Burmeister *et al.* (2012) defende que o Ensino de Química deve estar integrado ao desenvolvimento institucional voltado para o DS, especialmente em escolas primárias e secundárias. Isso implica que o ensino deve contribuir ativamente para a formação de estudantes conscientes dos desafios ambientais e sociais, alinhando práticas pedagógicas e conteúdos curriculares às metas da sustentabilidade. A abordagem precisa ser levada em consideração em toda e qualquer instituição de ensino, mas com prioridade para as que trabalham com o Ensino Fundamental e Médio. Os autores defendem que “educar crianças e estudantes para se tornarem cidadãos ativos que tenham a capacidade de alcançar estilos de vida sustentáveis requer modelos completos de processos escolares” (Burmeister *et al.*, 2012, p. 65, tradução próprio).

É necessário que o Ensino de Química se baseie em ações práticas, permitindo que os alunos compreendam como essas experiências podem transformar suas vidas. Esse modelo enfatiza que o ensino e a vivência escolar devem estar alinhados ao DS, tornando o aprendizado significativo e relevante para os estudantes.

É importante salientar que os modelos voltados para o Ensino de Química com foco na EDS são complementares entre si, podendo ser abordados de diferentes formas. Embora ainda existam situações que dificultam sua implementação, é necessário que haja uma mudança de atitude, principalmente por parte dos profissionais da educação, para que esses modelos sejam efetivamente aplicados.

2.3 MODELOS DE GOES E COLABORADORES

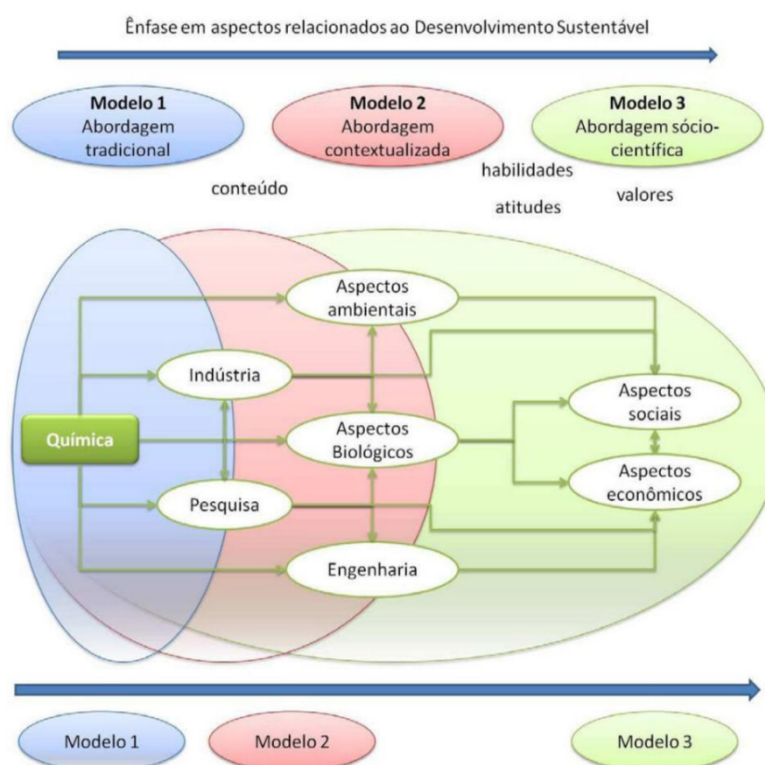
Os autores Goes *et al.* (2013) buscaram, através de sua pesquisa, investigar o conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK, *pedagogical content knowledge*) sobre a QV de professores universitários. Os autores realizaram uma pesquisa com 26 professores do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, os quais atuam em diferentes áreas de pesquisa. Para que tivessem acesso ao PCK destes professores e posteriormente documentar, os pesquisadores elaboraram um questionário buscando investigar aspectos exclusivos do EQV e consideraram para essa investigação elementos do PCK baseados no modelo de Grossman e apoiando-se em ideias centrais para o EQV (Goes *et al.*, 2013).

No modelo de Goes *et al.*, os elementos do PCK e os domínios base dos conhecimentos de professores estão apresentados como: a) conhecimento do conteúdo; b) conhecimento pedagógico e c) conhecimento pedagógico do conteúdo. Quando se trata dos propósitos para o ensino do conteúdo de QV, os autores utilizaram como base os modelos de Burmeister, apresentados anteriormente (Burmeister, *et al.*, 2012), para que assim conseguissem lidar com a QV no ensino. É importante ressaltar que os diferentes itens presentes no questionário estavam relacionados a estes modelos. Os professores participantes da pesquisa, puderam então se posicionar no que tange a relevância de cada aspecto no currículo (Goes *et al.*, 2013).

Nas concepções dos autores, os modelos que incorporam a QV ao currículo de Química, são interpretados de acordo com os componentes do PCK. As associações entre os modelos de Goes *et al.* e os componentes do PCK são expostas a seguir.

A Figura 2.5, a seguir permite analisar a relação entre os modelos de abordagem e determinados conteúdos que funcionam como estratégias para compreender como os professores podem inserir a QV no Ensino de Química por meio de diferentes perspectivas. Essas estratégias estão diretamente ligadas ao PCK, considerando elementos fundamentais, como o próprio conhecimento do conteúdo, essenciais para identificar o tipo de abordagem adotado pelos docentes.

Figura 2.5 - Representação esquemática da Química Verde no ensino de Química.



Fonte: Goes *et al.* (2013)

O modelo 1 (Abordagem tradicional) de Goes *et al.* (2013), procura agregar os princípios da QV em práticas experimentais de Química, transformando as práticas tradicionais em práticas baseadas nos princípios da QV. Esse modelo esclarece como a Química e a indústria química podem, através de suas pesquisas, ajudar na diminuição da geração de resíduos, promover a proteção ambiental e incentivar o uso consciente de matérias-primas e energia (Goes *et al.*, 2013). É importante enfatizar que essa abordagem, não abrange de forma mais aprofundada aspectos e discussões que estejam diretamente voltados para a abordagem CTS.

É interessante destacar que o modelo Abordagem tradicional de Goes *et al.* (2013), se assemelha muito aos primeiros modelos de Burmeister *et al.* (2012), anteriormente citados, pois ambos demonstram uma abordagem mais técnica e instrumental da QV a qual prioriza a abordagem dos princípios sem se preocupar em problematizar suas implicações sociais e ambientais. Apesar dos modelos terem sido construídos por autores diferentes, é possível identificar que eles seguem um padrão na forma como a QV é abordada no ensino, partindo de um nível técnico/básico e indo em direção a um nível crítico.

A abordagem presente no segundo modelo (Abordagem contextualizada), de Goes *et al.* (2013) busca identificar estratégias sustentáveis que possam ser integradas nos currículos de Química como parte do conteúdo curricular. É neste modelo que os princípios de Química auxiliam as estratégias e o avanço do DS e da QV, trazendo também notoriedade nas aplicações industriais. Todos esses pontos mencionados anteriormente, são abordados como conteúdos específicos presentes no currículo. A maior visibilidade que o modelo 2 busca trazer, é a relação da Química com produtos e processos do cotidiano.

O modelo 3 (Abordagem sócio-científica) de Goes *et al.* (2013), denominado como o “uso de questões de sustentabilidade associados a aspectos sócio-científicos” (Goes *et al.*, 2013, p. 115), faz a utilização de questões sócio científicas para tratar dos conteúdos de Química, tendo como enfoque os debates sociais. Essa abordagem tenta analisar e justificar de que forma os conteúdos de Química são compreendidos na sociedade, levando em consideração as diferentes facetas da sustentabilidade. Portanto, um dos objetivos é entender a relação da Química com a sociedade, economia e ambiente, ação essa que visa maior proximidade com o EDS.

Ainda nas concepções de Goes *et al.* (2013), os modelos 1 e 2, relacionam-se fortemente com os aspectos do conteúdo de Química. Já o modelo 3 possui como ênfase suas

particularidades relacionadas a valores e atitudes, tendo como foco os aspectos econômicos e sociais.

2.4 MODELOS DE SANDRI E SANTIN FILHO

A QV tem se tornado um tema cada vez mais crescente no Ensino de Química. O EQV pode seguir por vertentes técnica/instrumental ou crítica, dependendo da forma como ela é abordada em sala de aula, e de como ocorre a sua inserção nos currículos. No trabalho de Sandri e Santin Filho (2019), os autores buscaram elaborar modelos de abordagem da QV no Ensino de Química, baseando-se nas definições de Zuin (2011), tendo como base as vertentes da QV, sendo a primeira denominada como técnica ou instrumental, e a segunda crítica.

Através de uma análise pragmática, pode-se dizer que a primeira vertente, quando analisada na área das atividades químicas, tem por objetivo a inserção dos princípios da QV como forma de estratégia para a inclusão de práticas mais verdes. Estas práticas são entendidas como ambientalmente mais corretas, que mantêm ou otimizam os ganhos econômicos, não se preocupando ou questionando a relação sociedade-natureza, bem como a própria noção de ambiente e desenvolvimento (Sandri; Santin Filho, 2019). Quando se trata da vertente técnica na área do ensino, Sandri e Santin Filho (2019, p. 35), destacam que:

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 (Sandri e Santin Filho, 2019, p. 35).

É importante ressaltar que a perspectiva técnica da QV possui uma inegável importância, auxiliando no enfrentamento dos desafios da sustentabilidade, através do desenvolvimento de estratégias que são capazes de minimizar ou extinguir o efeito nocivo de contaminantes na saúde humana e na natureza.

Para Sandri e Santin Filho (2019), na perspectiva das racionalidades mais críticas, a dimensão técnica ainda mantém sua importância. Sob a dimensão crítica da QV, segunda vertente, entende-se que o foco principal é a prevenção, que pode ser considerada a força motriz para a redução da geração de resíduos. Nessa vertente, a relação entre sociedade e natureza é levada em consideração, assim como sua complexidade e a revisão da concepção

de sustentabilidade. Também são contempladas diversas dimensões, não se restringindo apenas à econômica. Em consonância com os autores,

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 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 (Sandri; Santin Filho, 2019, p. 36).

No EQV, a vertente crítica vai muito além de uma simples implementação dos princípios da QV em atividades experimentais ou em momentos pontuais. A vertente crítica está fortemente vinculada com as argumentações que envolvem a abordagem CTS, viabilizando uma educação ambiental crítica e cidadã. É importante enfatizar que as vertentes não são estáticas, podendo ser alteradas a qualquer momento. Ressalta-se que a dimensão técnica pode ser praticada sem depender da dimensão crítica, sendo esta última, por sua vez, dependente da primeira.

A pesquisa de Sandri e Santin Filho (2019) apresenta três modelos, a partir das ideias de Burmeister *et al.* (2012), que se vinculam diretamente a essas vertentes aqui apresentadas, partindo de uma abordagem mais técnica (Modelo 1), indo em direção a uma abordagem crítica (Modelo 3). Os pesquisadores utilizaram seus modelos para analisar propostas didáticas de licenciandos em Química, a fim de identificarem os modelos que predominam na abordagem das propostas, bem como as tendências, referentes às vertentes.

Os modelos de Sandri e Santin Filho (2019) são apresentados nos Quadros 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4 abaixo, vão de 1 a 3, partindo do mais simples ao mais abrangente, os quais são estruturados de acordo com quatro dimensões: a) a abordagem didática; b) a postura do professor; c) o momento e frequência da aplicação e d) os objetivos educacionais. A organização é feita desta forma, para que seja facilitada a análise das propostas didáticas, podendo assim ser evidenciado, que os modelos mais elaborados de abordagem da QV requerem uma mudança do professor, sendo ela epistemológica ou pedagógica.

Quadro 2.1 - Modelos quanto a abordagem didática

Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Descritores	Descritores	Descritores
a) Adota princípios da QV na elaboração e aplicação de aulas experimentais;	a) Adota princípios da QV na elaboração e aplicação de aulas experimentais e teóricas;	a) Adota princípios da QV na elaboração e aplicação de aulas experimentais e teóricas;

b) Valoriza principalmente os princípios de redução de reagentes, gasto energético e gestão de resíduos, sem, contudo, avaliar sistematicamente a verdura química do experimento;	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;	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) Preocupa-se em praticar uma Química segura.	c) Envolve os alunos na discussão e na escolha de produtos, processos ou procedimentos com maior verdura química;	c) Envolve os alunos na discussão e na escolha de produtos, processos ou procedimentos com maior verdura química;
d) Preocupa-se com o gerenciamento de resíduos.	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;	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;	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) Contextualiza o conteúdo através da abordagem de tecnologias e produtos considerados verdes;	f) Considera e aborda o contexto histórico do qual emergiu a QV, interrelacionando a outros movimentos de enfrentamento dos problemas socioambientais em face do desenvolvimento científico tecnológico;
	g) Relaciona a QV ao Desenvolvimento Sustentável e/ou somente aos benefícios econômicos e ecológicos;	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) Promove a conscientização dos alunos em relação às boas práticas químicas e suas implicações sociais e ambientais;	h) Atrai 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) 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.	

Fonte: Sandri e Santin Filho (2019).

Em relação à abordagem didática, o modelo 1 foca na aplicação dos princípios da QV em aulas experimentais, enfatizando a gestão adequada dos resíduos, a minimização do uso de reagentes e a prática segura da Química. Já o modelo 2 amplia essa abordagem, integrando os princípios da QV tanto em aulas práticas quanto teóricas. Nesse modelo, o aluno participa da análise da eficiência química dos procedimentos por meio de métricas, como a análise de massa e a eficiência atômica, conforme exemplificado no princípio P2, Economia de átomos. Além disso, o modelo 2 busca contextualizar a QV, abordando temas como impactos econômicos, impactos ecológicos e sustentabilidade, tornando-se mais abrangente em relação ao primeiro.

A abordagem didática baseada no modelo 3, procura articular a QV de forma interdisciplinar, relacionando-a com questões CTSA e conteúdos curriculares, ações essas que

são essenciais para a promoção de debates sobre sustentabilidade. Esse modelo é mais abrangente que o anterior.

Na sequência, pode ser observado o Quadro 2.2, que apresenta os descritores e os modelos, em relação à postura do professor. Esses modelos mostram quais são as ações dos professores e qual o comportamento deles, mediante a busca de inserção da QV no Ensino de Química.

Quadro 2.2 - Modelos quanto à postura do professor

Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Descritores	Descritores	Descritores
a) Conhece seus princípios e os emprega em aulas laboratoriais;	a) É dialógico e disposto a envolver os alunos nos processos de análise e decisões referentes a QV;	a) Possui um conhecimento específico e pedagógico que permite abertura à participação ampla dos alunos;
b) Menciona ou exemplifica algum princípio posto em prática ou algum benefício da QV em comparação com as práticas convencionais de Química;	b) Estimula a pesquisa e a comunicação dos saberes 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) Pode apresentar posturas centralizadoras, pois este modelo não exige a mudança de alinhamento pedagógico;	c) Busca tornar os alunos conscientes da prática da QV e tornar esses princípios presentes tanto nas aulas experimentais quanto teóricas.	c) Assume uma abordagem interdisciplinar e está familiarizado com a dimensão crítica da QV e da Educação Ambiental;
d) Não encaminha abordagens contextualizadas que envolvam a QV;	d) Promove contextualização crítica que permite aos alunos perceber as relações da Química com as questões sociais, ambientais e econômicas.	d) Deve ter um pensamento sistêmico sobre os problemas socioambientais relacionados a Ciência e Tecnologia;
e) Não envolve os alunos em discussões referentes a QV, somente os estimula a colocar em prática alguns de seus princípios.		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.

Fonte: Sandri e Santin Filho (2019).

Em relação ao modelo 1, o professor possui uma postura centralizadora, com pouco diálogo ou interação de caráter crítico com os estudantes. Neste modelo, o professor conhece os princípios da QV, mas os aborda sem discussões aprofundadas, diferentemente do modelo 2, que possui um perfil dialógico e visa à participação dos estudantes em discussões ou até mesmo análises, promovendo e incentivando a pesquisa, bem como a conscientização em relação às práticas químicas e suas consequências para os setores sociais e ambientais. O professor no modelo 3 possui abertura para participação dos estudantes, através de discussões CTSA, incentivando uma visão crítica, muitas vezes de caráter interdisciplinar.

No que se refere ao momento e a frequência da abordagem, o Quadro 2.3 apresenta os modelos e seus respectivos descritores.

Quadro 2.3 - Modelos quanto ao momento e a frequência da abordagem

Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Descritores	Descritores	Descritores
a) Atrela a QV prioritariamente à experimentação;	a) A QV é abordada nas aulas teóricas e experimentais;	a) A QV é abordada nas aulas teóricas e experimentais de forma transversal;
b) Realiza abordagens pontuais do tema QV, como em palestras, vídeos e minicursos, desvinculados dos conteúdos de aprendizagem.	b) A abordagem da QV faz parte dos conteúdos de aprendizagem (conceituais e/ou procedimentais).	b) A abordagem da QV é vinculada os conteúdos de aprendizagem (conceitual, procedimental e atitudinal).

Fonte: Sandri e Santin Filho (2019).

No modelo 1, quanto a frequência e abordagem, a QV é abordada de forma relativa e muitas vezes restrita às práticas experimentais, não possuindo um vínculo significativo com os conteúdos teóricos. No modelo 2, a abordagem se faz presente tanto na experimentação, quanto nas aulas teóricas, aqui ocorre a integração de conteúdos curriculares, viabilizando temas de aprendizagem. No modelo 3, considerado o mais crítico, a abordagem ocorre de forma transversal ao currículo, e em diferentes contextos, seja em aulas experimentais ou nas teóricas.

Por fim, no tocante aos objetivos educacionais, o Quadro 2.4, mostra os modelos e os descritores correspondentes.

Quadro 2.4 - Modelos quanto aos objetivos educacionais

Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Descritores	Descritores	Descritores
a) Praticar a QV;	a) Inserir a QV no ensino de Química;	a) Estimular a prática consciente, intencional e crítica da QV;
b) Divulgar ou informar sobre a QV.	b) Melhorar a percepção social da Química por meio da QV.	b) Promover a Educação Ambiental e a Educação para a Sustentabilidade Socioambiental.

Fonte: Sandri e Santin Filho (2019).

No modelo 1, quanto aos objetivos educacionais, ocorre a prática e divulgação dos princípios da QV como ênfase para a experimentação, porém não há uma análise contextualizada, ou mais crítica de tais práticas. O modelo 2 incentiva os estudantes a ampliarem seus conhecimentos sobre a QV, muitas vezes relacionando esses conhecimentos com o DS e com práticas químicas conscientes. O modelo 3 busca a alfabetização científica e também uma educação ambiental crítica, principalmente no que tange a formação de cidadãos aptos para o enfrentamento dos problemas socioambientais.

É importante salientar que todos os modelos possuem sua relevância para tornarem viável o EQV, concatenando os objetivos mais abrangentes da educação. Uma proposta didática não precisa necessariamente fixar em um modelo, mas podem mesclar elementos dos diferentes modelos.

Neste sentido, é possível observar que no modelo 1 em relação a postura do professor, descrito no Quadro 2.2, por ter os fundamentos da QV alicerçados somente na perspectiva da experimentação, os professores visam colocar em prática os princípios, principalmente os de caráter qualitativo, como é o caso da redução de reagentes e resíduos. Entretanto, ele não possibilita a realização de análises criteriosas do grau verde e nem tecer considerações ou debates com os estudantes sobre o tema. Adotar o modelo 1 é seguir por um caminho simples, pois não exige mudanças curriculares e pedagógicas referentes ao Ensino de Química, requerendo apenas mudanças em relação ao emprego de produtos químicos, equipamento experimental e procedimentos. “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.” (Sandri; Santin Filho, 2019, p. 40.).

O modelo 2, diferentemente do primeiro, possui uma abordagem que vai além da experimentação, levando em consideração as teorias dos conteúdos químicos e a incorporação das métricas de massa e holística na análise dos processos químicos. De acordo com Sandri e Santin Filho (2019), este modelo exige que o professor tenha um perfil dialógico, permitindo assim uma maior participação dos alunos, pois nesta abordagem, salienta-se maior participação dos estudantes em análises e tomadas de decisões que busquem a obtenção do aumento da verdura química. O modelo 2 sugere a busca por uma contextualização mais crítica, viabilizando a articulação da Química com contextos mais amplos, e permitindo uma expansão considerável em tornar a QV uma temática presente em diferentes momentos formativos dos indivíduos.

O modelo 3, que é considerado o mais abrangente, possui suas abordagens didáticas baseadas em racionalidades paradigmáticas. Esse modelo busca articular os conhecimentos químicos com questões científico-tecnológicas, ambientais, sociais, políticas, econômicas e históricas, procurando desta forma desvincular-se de um conteúdo trabalhado de forma segmentada. Ainda neste modelo, há o embasamento epistemológico no que tange o questionamento do papel da ciência e da tecnologia para os avanços ambientais e sociais, bem como no reconhecimento das limitações científicas, incluindo as da própria QV (Sandri; Santin Filho, 2019). O professor ao adotar o modelo 3, precisa alicerçar-se em correntes

pedagógicas críticas, construtivistas ou progressistas, as quais auxiliam no rompimento com o tradicionalismo no ensino. O modelo exige, portanto, uma mudança significativa na prática do Ensino de Química.

A abordagem da QV no Ensino de Química parte, portanto, de uma perspectiva técnica instrumental e vai em busca de uma abordagem totalmente crítica. Levar em consideração os modelos de abordagem aqui presentes é fundamental para a formação de professores, incentivando-os a práticas cada vez mais contextualizadas quando trata-se da QV no Ensino de Química. Assim, a formação de professores com ênfase na QV deve trazer relevância aos modelos existentes, promovendo assim um ensino mais significativo, relevante e transformador.

Os modelos podem ser utilizados tanto para a construção quanto para a análise de propostas didáticas, contribuindo para aproximar o EQV de uma vertente crítica, na qual o ensino não se limita ao conhecimento conceitual, mas busca uma formação voltada à cidadania e à perspectiva humanística, conforme preconizado por Sjöström e Talanquer (2014). Diante disso, neste trabalho, os modelos de abordagem da QV servirão como referência teórica para a análise dos dados obtidos. A seguir, serão apresentados os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento da pesquisa.

CAPÍTULO 3 METODOLOGIA

O presente capítulo traz o detalhamento dos critérios estabelecidos para a seleção dos trabalhos analisados, bem como o processo de coleta de dados e os procedimentos que foram abordados na categorização e interpretação dos dados. É neste capítulo que são estabelecidos os parâmetros que serão discutidos no capítulo seguinte, ao serem abordados os resultados e discussões.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa é de abordagem qualitativa. De acordo com Gil (2021), a pesquisa qualitativa, determina a qualidade de processos e de entidades, que não se apresentam em termos de quantidade, frequência ou intensidade. O autor ainda destaca que esse tipo de pesquisa “ênfatiza a natureza socialmente construída da realidade, o relacionamento íntimo entre o pesquisador e o que é estudado, além das restrições situacionais que moldam a investigação” (Gil, 2021, p. 16).

Neste sentido, ao investigar como a QV é tratada nas pesquisas brasileira, em especial, ao analisar as propostas didáticas levantadas sob a ótica dos modelos de abordagem da QV e suas contribuições para a implementação de práticas sustentáveis no Ensino de Química, a pesquisa se caracteriza como qualitativa por focar na qualidade da relação entre as propostas e os modelos da QV e a implementação de práticas sustentáveis, e não na quantificação dessas relações.

No que se refere aos objetivos, esta pesquisa é classificada como exploratória, pois busca proporcionar maior familiaridade com o tema do EQV, especialmente ao analisar as propostas didáticas identificadas na RSL e ao compreender as experiências e percepções relacionadas à implementação dessas práticas no ensino de Química. Segundo Gil (2021), a pesquisa exploratória visa proporcionar maior compreensão do problema estudado, tornando-o mais explícito e, em alguns casos, possibilitando a formulação de hipóteses.

Ademais, a pesquisa apresenta também caráter descritivo, uma vez que descreve os resultados encontrados na RSL, categoriza os trabalhos selecionados e analisa-os por meio de excertos, em relação aos modelos de abordagem da QV em que se enquadram. De acordo com Gil (2021, p. 16), ao tratar da pesquisa descritiva, afirma-se que “os achados da pesquisa são apresentados não em números, mas em palavras, figuras, notas de campo, excertos de

documentos, trechos das falas dos participantes e segmentos de vídeos são incluídos no relatório da pesquisa”.

Os procedimentos utilizados na pesquisa caracterizam-se como um estudo de natureza bibliográfica, realizado por meio de uma RSL, com o objetivo de mapear o estado da arte em relação às publicações sobre o EQV no Brasil. Além disso, busca-se analisar como a temática vem sendo abordada ao longo do tempo, identificar possíveis lacunas na produção científica e incentivar o desenvolvimento de novos estudos na área.

3.2 CAMINHO METODOLÓGICO

A fim de garantir uma análise mais aprofundada e rigorosa em relação a inserção da QV no Ensino de Química a partir de pesquisas *stricto sensu* no Brasil, esse tópico, dividido em subtópicos, apresentará de forma detalhada os procedimentos adotados na pesquisa. A abordagem qualitativa e a RSL permitiram realizar um mapeamento para analisar de forma aprofundada os trabalhos (dissertações e teses) que tratam da temática da QV na área do ensino, possibilitando assim a identificação das propostas didáticas e quais características as compõem.

Para a análise e interpretação dos dados, foram realizados através do método da ATD, conforme proposta por Galiazzi (2020). Trata-se de uma metodologia qualitativa que visa à construção de sentidos a partir de textos, por meio de um processo que envolve a desconstrução e a reconstrução dos dados. A ATD desenvolve-se em três etapas principais: a unitarização, em que o texto é fragmentado em unidades de sentido; a categorização, na qual essas unidades são agrupadas em categorias emergentes com base em significados comuns; e, por fim, a comunicação, etapa em que se constrói um novo texto teórico, integrando os significados produzidos ao longo da análise. Essa metodologia foi escolhida por permitir uma compreensão aprofundada dos fenômenos educacionais relacionados ao EQV.

Como forma de complementar ainda mais a pesquisa, os trabalhos denominados como sendo propostas didáticas, foram analisados através dos modelos de abordagem da QV de Sandri e Santin Filho (2019), permitindo, de certa forma, avaliar o grau de abrangência com que o ensino da QV vem sendo praticado ou preconizado nas propostas didáticas.

3.2.1 Revisão Sistemática de Literatura (RSL)

A RSL desempenha um papel central nesta pesquisa, pois permite identificar como o EQV tem se manifestado na produção acadêmica *stricto sensu* no Brasil. Por meio da análise de dissertações e teses, é possível mapear as abordagens mais recorrentes da QV na área de ensino, com especial atenção às pesquisas que apresentam propostas didáticas. A partir dessas, torna-se viável examinar quais modelos de ensino da QV têm sido utilizados ou propostos pelos autores, de modo a compreender em que medida tais iniciativas dialogam com perspectivas críticas ou tecnicistas. Dessa forma, a RSL contribui para traçar um panorama das tendências, lacunas e potencialidades na inserção da QV no campo da Educação em Química.

De acordo com Galvão e Ricarte (2020), a RSL vai muito além de uma simples Revisão de Literatura tradicional. Enquanto a Revisão de Literatura convencional tem como principal objetivo contextualizar teoricamente o tema de uma pesquisa maior, a RSL constitui-se como uma pesquisa científica em si, com objetivos próprios, uma pergunta de pesquisa claramente definida, metodologia sistematizada, critérios rigorosos de seleção de estudos, análise detalhada dos resultados e uma conclusão específica sobre o estado do conhecimento em determinada área. Para a realização da RSL presente nesta pesquisa, foram seguidos os cinco passos estabelecidos por Mendes e Pereira (2020): i) definição do objetivo e da pergunta de pesquisa; ii) busca sistemática dos trabalhos; iii) seleção dos estudos; iv) análise das produções; e v) apresentação dos resultados da revisão sistemática.

Considerando a pouca difusão de trabalhos que envolvem a QV no Ensino de Química no Brasil (Marcelino; Marques, 2023), houve a necessidade de se realizar um levantamento das pesquisas nacionais (Teses e Dissertações) que estão sendo produzidas em Programas de Pós-graduação (PPG) em nível *stricto sensu* sobre o EQV, a fim de identificar como a temática tem sido abordada no meio acadêmico. Para tanto, realizou-se uma RSL, a partir das bases de dados Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES (CTDC), considerando o período de 2012, até julho de 2024. No Quadro 3.1, são apresentadas as palavras-chave utilizadas no levantamento e que estão diretamente ligadas aos termos principais da pesquisa.

Quadro 3.1 - Palavras-chave que foram utilizadas na Pesquisa bibliográfica

“Química Verde” and Ensino
“Química Verde” and “Ensino de Química”

“Química Verde” and Educação
“Química Verde” and Aprendizagem
“Química Verde” and “Formação de Professores”
“Química Verde” and CTS
“Química Verde” and CTSA

Fonte: O Autor (2024)

A primeira etapa da busca, ocorreu no *site* Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações², utilizando-se o modo de busca avançada, considerando as categorias: Todos os Campos, Assunto e Resumo Português. As combinações de palavras-chave na base BDTD ocorreram da seguinte forma, o termo “Química Verde” poderia aparecer no título ou nas palavras-chaves, e todos os outros termos como: os termos Ensino, “Ensino de Química”, Educação, Aprendizagem, “Formação de Professores”, CTS e CTSA poderiam aparecer em qualquer parte do trabalho, desde que os demais critérios de seleção fossem atendidos. No entanto, é importante destacar que, após a identificação inicial por meio dessas palavras-chave, todos os trabalhos foram lidos na íntegra para garantir que realmente se tratavam de produções vinculadas à área de Ensino de Química. Essa etapa foi fundamental para excluir materiais que, apesar de conterem os termos buscados, abordam apenas aspectos técnicos da QV sem qualquer relação com processos educativos.

O segundo momento de busca ocorreu no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES³. Como essa base não dispõe de um campo de busca avançada, permite o refinamento da pesquisa. Todos os filtros relevantes foram aplicados de forma precisa. Optou-se pelo filtro “área do conhecimento”, abrangendo todas as áreas relacionadas à educação, educação científica e tecnológica.

Nesta primeira etapa com os descritores de busca obtivemos 74 e 33 trabalhos na base BDTD e CTDC, respectivamente. Os critérios de inclusão e exclusão utilizados para selecionar os trabalhos estão dispostos no Quadro 3.2. Esses critérios foram essenciais pois garantiram a seleção adequada dos estudos a serem considerados.

Quadro 3.2 - Critérios de Inclusão e Exclusão dos acervos bibliográficos

Critérios de Inclusão	1. Apresentar o termo Química Verde no título ou nas palavras-chave; 2. Ser Tese ou Dissertação que aborda a QV na perspectiva de ensino;
-----------------------	--

²Site da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações: [Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações \(BDTD\)](#).

³Site do Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES: [Catálogo de Teses & Dissertações - CAPES](#)

Critérios de Exclusão	1. Duplicidade nas bases de dados; 2. Trabalhos que não abordam o ensino de QV; 3. Estar em um idioma estrangeiro.
-----------------------	--

Fonte: O Autor (2024)

Após a aplicação dos critérios mencionados, a amostra foi composta por 24 trabalhos, cujos resumos, metodologias, resultados, discussões e considerações finais foram inicialmente analisados. Esses trabalhos foram, então, lidos com maior profundidade, e das suas leituras foram extraídas as informações mais relevantes, para compor o fichamento das produções selecionadas como: i) autoria; ii) tipo de trabalho (tese ou dissertação); iii) ano de publicação; iv) local de publicação; v) instituição de ensino; e vi) nível de ensino. Os 24 trabalhos analisados são apresentados na seção 4.1 desta dissertação.

3.2.2 Análise Textual Discursiva (ATD)

Com o objetivo de investigar de forma mais aprofundada as características das Teses e Dissertações, optou-se pelo método da ATD. Por ser uma abordagem que exige uma análise detalhada e criteriosa, ela auxiliará na identificação de elementos que justifiquem como a QV tem sido abordada no Ensino de Química no Brasil, ou seja, quais intervenções os profissionais da educação têm realizado para promover essa inserção. O método também contribuirá para compreender o nível dessas abordagens, relacionando-as aos modelos de abordagem da QV, a fim de identificar se a abordagem ocorre em um nível mais simples ou mais crítico.

Após a conclusão das etapas de seleção e leitura integral dos trabalhos, procedeu-se à análise dos dados empregando-se a ATD. Segundo Galiazzi (2020, p. 33), “a ATD, inserida no movimento da pesquisa qualitativa, não pretende testar hipóteses para comprová-las ou refutá-las ao final da pesquisa; a intenção é a compreensão, a reconstrução de conhecimentos existentes sobre os temas investigados”. Além disso, de acordo com Galiazzi e Sousa (2022, p. 18), “na ATD, busca-se aprofundamento do pesquisador sobre o processo desconstrutivo de unitarização, que é recursivo de mergulho nos sentidos atribuídos aos textos em análise”. Dessa forma, a ATD pode ser entendida como uma metodologia de análise qualitativa, que se afasta da visão positivista e se aproxima da hermenêutica (Galiazzi; Sousa, 2022).

A ATD é fundamentada em três passos principais: i) desmontagem dos textos (unitarização); ii) estabelecimento de relações (categorização); e iii) captação do novo emergente (metatexto). O processo de análise propriamente dito tem início a partir da seleção

do conjunto de textos a serem analisados ou de uma parte deles. A primeira etapa consiste na desconstrução e unitarização dos textos, ou seja, na fragmentação em unidades de sentido, considerando aspectos estruturantes dos trabalhos, como os objetivos geral e específicos, metodologia, resultados e discussões, resumo, introdução e considerações finais (Galiazzi, 2020).

O segundo momento da ATD é a categorização, que pode ser definida como um processo de comparação constante entre as unidades de sentido estabelecidas na etapa anterior. Nesse processo, as unidades são agrupadas de acordo com suas semelhanças, formando categorias que vão sendo nomeadas, definidas e refinadas ao longo da análise. Essas categorias tornam-se cada vez mais precisas e significativas para a pesquisa, à medida que o pesquisador aprofunda a compreensão dos dados (Galiazzi, 2020).

Para Galiazzi (2020), o metatexto é o produto final da ATD, resultante da unitarização e categorização dos dados. Ele representa um novo texto analítico que organiza e interpreta os sentidos obtidos a partir do corpus, articulando categorias e subcategorias em descrições e interpretações que expressam os significados construídos ao longo da análise. Essa estrutura textual reflete tanto o conteúdo dos textos originais quanto a interpretação do pesquisador, funcionando como uma teoria emergente sobre os fenômenos investigados. Em resumo, o metatexto sintetiza a compreensão alcançada, oferecendo uma narrativa coerente e fundamentada, fruto do mergulho interpretativo do analista.

Na presente pesquisa, foi utilizado o método da ATD para analisar as teses e dissertações selecionadas a partir da RSL, em busca da identificação de características que fossem comuns entre os trabalhos a fim de organizá-las em categorias emergentes. Através dos passos da ATD como a unitarização, categorização e construção dos metatextos, houve a possibilidade de estabelecer a análise das propostas didáticas de EQV, sendo possível a identificação das tendências e como a abordagem vem acontecendo em âmbito educacional.

3.2.3 Análise das Propostas Didáticas

Durante a aplicação do método da ATD e a leitura detalhada dos 24 trabalhos selecionados para uma análise mais aprofundada, foi identificado que 11 deles se apresentavam como propostas didáticas, evidenciando que o propósito das pesquisas era, de alguma forma, inserir a QV no Ensino de Química. Para analisar essas propostas, utilizou-se os modelos de abordagem de Sandri e Santin Filho (2019), previamente apresentados, com o objetivo de identificar em qual modelo (1, 2 ou 3) cada proposta se encaixava e quais

descritores foram atingidos, levando em consideração se a abordagem foi mais simples ou mais abrangente.

Os modelos de Sandri e Santin Filho (2019) variam de 1 a 3, partindo de uma abordagem mais simples até uma mais crítica e abrangente. Essas categorias foram estruturadas de acordo com diferentes dimensões que auxiliam na análise das propostas didáticas, como: a) a abordagem didática; b) a postura do professor; c) o momento e a frequência da abordagem; e d) os objetivos educacionais. Acredita-se que essa análise, realizada pelo método da ATD, trará resultados significativos, os quais serão apresentados no capítulo seguinte.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os dados coletados a partir da RSL descrita na seção 3 e analisados por meio da ATD, assim como a análise das 11 propostas didáticas levantadas sob a ótica dos modelos de abordagem da QV.

Na primeira subseção dos resultados, serão apresentados e discutidos os dados obtidos sobre as pesquisas desenvolvidas em programas de pós-graduação *stricto sensu* no Brasil que abordam o EQV, com foco na sua distribuição geográfica e temporal. Após essa análise inicial, serão exploradas, uma a uma, as categorias emergentes do processo de ATD, destacando as principais abordagens adotadas nas produções acadêmicas sobre o EQV.

A segunda subseção aborda a avaliação das propostas didáticas encontradas na RSL e analisadas de acordo com o modelo de Sandri e Santin Filho (2019). O procedimento permitiu identificar em que nível essas propostas abordam os aspectos técnicos, contextuais ou críticos da QV bem como os obstáculos e as potencialidades que esses trabalhos indicam para o EQV.

4.1 RESULTADOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL)

A RSL é uma parte importante para o desenvolvimento da pesquisa científica, já que através dela foram retiradas todas as informações e subsídios necessários para que os resultados pudessem ser analisados com bastante cautela e profundidade. As bases de dados utilizadas para a pesquisa, como já mencionado anteriormente, foram a BDTD e o CTDC. A Figura 4.1 ilustra como ficaram distribuídos os trabalhos após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão.

Figura 4.1 - Dados obtidos



Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

A amostra é composta por 24 trabalhos entre teses e dissertações que obedecem aos critérios de inclusão. Os trabalhos estão listados nos Quadros 4.1 e 4.2, os quais apresentam as Dissertações e as Teses, respectivamente. As informações presentes nos quadros são: i) Título; ii) Autor(a); iii) Instituição de Ensino Superior (IES) e iv) Ano de publicação.

Quadro 4.1 - Dissertações sobre o EQV no período de 2012 a 2024

Título	Autor(a)	IES	Ano
1. Inserção da química verde em atividades experimentais de graduação.	Hrasyk, Angélica de Souza	Unicentro	2012
2. Construção e avaliação de um ambiente virtual de aprendizagem voltado à Educação em Ciências, Química Verde e Sustentabilidade Socioambiental'.	Souza, Fabio Fontana de	UFSCar	2013
3. A Inserção da Química Verde no Curso de Licenciatura em Química do DQ-UFSCar: Um Estudo de Caso	Zandonai, Dorai Periotto	UFSCar	2013
4. Otimização e padronização das práticas laboratoriais realizadas no departamento de química da Universidade Federal de Mato Grosso, com abordagem no contexto da química verde.	Souza, Marciano Simões de	UFMT	2016
5. Inserção dos princípios da química verde em uma disciplina experimental sob o enfoque ciência-tecnologia-sociedade.	Pereira, Kamila Medeiros	UFAM	2018
6. Química Verde: análise da emergência do estilo de pensamento a partir da perspectiva fleckiana	Moreira, Amanda Magagnin	UFPR	2018

7. Abordagem dos princípios da Química Verde por meio do lúdico na formação ambiental de profissionais da química	Costa, Mariangela Celisa Souza	UFG	2018
8. A experimentação no curso de Licenciatura em Química da UFSCar (campus São Carlos): aproximações e distanciamentos à Química Verde	Tasso, João Francisco Nunes	UFSCar	2018
9. Experimentos Verdes em Química Orgânica: uma proposta de aplicação do método da Estrela Verde para o curso Técnico em Química	Melo, Nivia Regina Vitalino	UFMG	2019
10. Experimentos de química verde numa abordagem CTS no ensino médio: ferramenta de construção de aprendizagens e de promoção do desenvolvimento sustentável.	Souza, Carla Cristina Onorio de	UEL	2020
11. Divulgação científica sobre a química verde em vídeo: reflexões dialógicas.	Pereira, Rubia Lucia	UFMG	2020
12. A inserção da química verde em aulas de química orgânica no ensino superior : uma pesquisa ação	Kostianovicz, Tamiris	UFPR	2020
13. A química verde e a aprendizagem significativa: uma proposta de abordagem alternativa para ensino de química verde.	Nardotto, Rafael dos Santos	UENP	2021
14. Abordagem da química verde no ensino de química: a eficiência do ácido nítrico diluído no preparo de amostras de sedimentos	Simon, Madeline JN	UFES	2022
15. Proposição de Sequência Didática para o tema Eletroquímica no Ensino Técnico Subsequente Abordando as Temáticas Química Verde, Sustentabilidade e Educação Ambiental.	Federizzi, Tatiane	UTFPR	2023

Fonte: O Autor (2024).

Quadro 4.2 - Teses sobre o EQV no período de 2012 a 2024

Título	Autor(a)	IES	Ano
1. Química Verde no Ensino Superior de Química: Estudo de Caso Sobre as Práticas Vigentes em Uma IES Paulista	Saquete, Karla Carolina	UFSCar	2015
2. Contribuições da inserção do enfoque CTSA e da Química Verde na Formação de Licenciandos em Química	Sandri, Marilei Casturina Mendes	UEM	2016
3. A Circulação de Conhecimentos em Química Verde em Teses e Dissertações: implicações ao seu ensino e à Formação de Professores de Química'	Roloff, Franciani Becker	UFSC	2016
4. As tecnologias educacionais e a teoria crítica: análise da compreensão de licenciandos em química acerca dos ambientes virtuais, química verde e	Souza, Fabio Fontana de	UFSCar	2017

sustentabilidade socioambiental.			
5. Os tipos de racionalidade na Química Verde e suas relações com o ensino	Marcelino, Leonardo Victor	UFSC	2020
6. Motivações de Professores ao uso de um Ambiente Temático Virtual para simulações de rotas de síntese em Química Verde	Runtzel, Patricia Link	UFSC	2022
7. Ensino de Química Verde no Ensino Médio e Técnico com Enfoque na Experimentação e Abordagem CTS	Brandao, Juliana Barreto	CEFET/RJ	2022
8. Química Verde por meio da Abordagem CTS: A Construção e Aplicação de uma Disciplina em um Curso de Formação de Professores	Bouzon, Julia Damazio	CEFET/RJ	2022
9. A Prática Experimental Investigativa Crítica Verde na Licenciatura em Química de uma Universidade Federal do Estado de São Paulo: Um Estudo de Caso	Andrade, Rosivânia da Silva	UFSCar	2022

Fonte: O Autor (2024).

A partir dos dados dos quadros 4.1 e 4.2 foi possível identificar a quantidade de publicações durante o período estabelecido para a RSL que foi de 2012 até julho de 2024.

Figura 4.2 - Gráfico com as publicações de Teses e Dissertações, encontradas na RSL.



Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

No gráfico da Figura 4.2 da distribuição dos trabalhos por ano, observa-se que alguns anos não aparecem, podendo ser um indicativo de que houve momentos de maior interesse da academia nas produções voltadas a QV, podendo ser resultado de políticas educacionais, alguns eventos científicos ou até mesmo a consolidação de alguma linha de pesquisa. A queda

de publicações no ano de 2021, pode estar relacionada com a pandemia do COVID-19, momento esse em que muitas pesquisas e projetos científicos ficaram estagnados.

É importante destacar que outras pesquisas de RSL foram realizadas, como da pesquisadora Roloff (2016), que conduziu um estudo com trabalhos de nível *stricto sensu*, com o objetivo de compreender como ocorre a circulação do conhecimento sobre QV nas teses e dissertações analisadas, sua contribuição para o EQV e sua influência na formação de professores de Química. A autora adotou um recorte temporal de 2002 a 2012, posteriormente estendido até 2014, utilizando como bases de dados o Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES (CTDC) e a Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD). Ao todo, foram encontrados 77 trabalhos (50 dissertações e 27 teses). No entanto, apenas 14 desses trabalhos (4 teses e 10 dissertações) referiam-se explicitamente ao EQV, o que, segundo a autora, caracteriza a formação de um círculo esotérico em torno do tema.

A pesquisadora Roloff (2016) também conduziu um estudo com trabalhos de nível *stricto sensu*, com o objetivo de compreender como ocorre a circulação do conhecimento sobre QV nas teses e dissertações analisadas, sua contribuição para o EQV e sua influência na formação de professores de Química. A autora adotou um recorte temporal de 2002 a 2012, posteriormente estendido até 2014, utilizando como bases de dados o Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES (CTDC) e a Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD). Ao todo, foram encontrados 77 trabalhos (50 dissertações e 27 teses). No entanto, apenas 14 desses trabalhos (4 teses e 10 dissertações) referiam-se explicitamente ao EQV, o que, segundo a autora, caracteriza a formação de um círculo esotérico em torno do tema, ou seja, um grupo restrito e fechado de pesquisadores que trabalham especificamente com a temática do EQV, com pouca circulação e divulgação desse conhecimento para a comunidade acadêmica mais ampla.

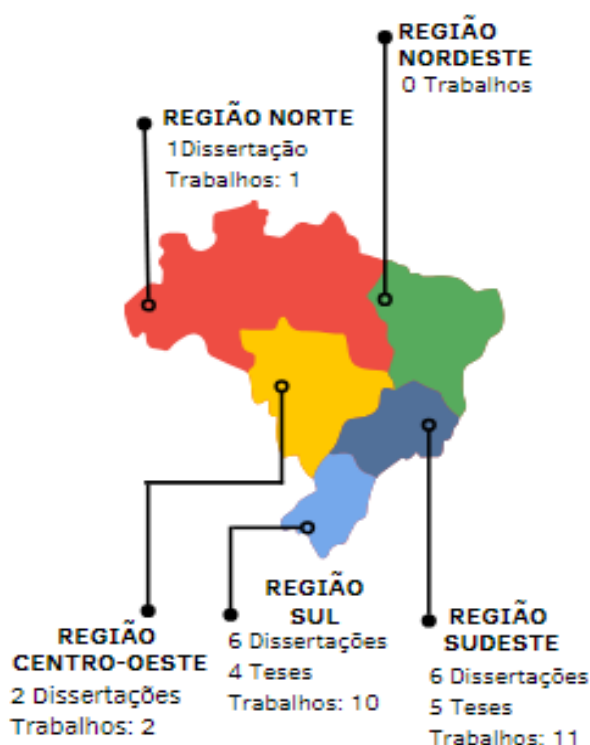
A partir da análise dessas 14 produções, Roloff (2016) identificou três principais formas de abordagem: a predominância da experimentação como estratégia didática; algumas tentativas de vinculação com a abordagem CTS e propostas que defendem a transversalização da QV no ensino. Considerando-se que a presente pesquisa identificou 24 trabalhos voltados explicitamente ao EQV no período de 2012 a 2024, é possível observar um crescimento gradual das investigações sobre essa temática em programas *stricto sensu*, o que indica um avanço na consolidação do EQV enquanto campo de interesse da área de Educação em Química.

A presente pesquisa, assim como Roloff (2016), apresenta uma RSL para investigar como a QV é tratada nas pesquisas desenvolvidas em nível *stricto sensu* no Brasil, entretanto

utiliza outra janela temporal, 2012-2024. Ademais, a pesquisa desenvolvida se distancia da pesquisa de Roloff (2016), por ter como objetivo analisar as propostas didáticas levantadas sob a ótica dos modelos de abordagem da QV e suas contribuições para a implementação de práticas sustentáveis no Ensino de Química

No primeiro contato com os trabalhos selecionados para a pesquisa, foram analisados os locais de publicações (regiões do país), a Universidade em que ocorreu a pesquisa, e também quem foram os orientadores dos diferentes trabalhos. A Figura 4.3, ilustrando a quantidade de publicações por região do país.

Figura 4.3 - Quantidade de publicações em cada região do Brasil.



Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

Essa análise também permitiu identificar os grupos de pesquisas em determinadas Universidades e quem são os orientadores que se destacam ao abordarem a QV no Ensino de Química. Na Figura 4.3, observa-se que as regiões Sudeste e Sul foram as que mais tiveram trabalhos que atenderam aos critérios de inclusão, sendo um total de 11 (onze) e 10 (dez) trabalhos respectivamente encontrados por região. Em seguida, vem a região Centro-Oeste com duas publicações de trabalhos, a região Norte com 1 (um) trabalho e a região Nordeste, na qual não foram encontrados trabalhos que atendessem aos critérios de inclusão. Essa análise também permitiu identificar os grupos de pesquisas em determinadas Universidades e quem são os orientadores que se destacam ao abordarem a QV no Ensino de Química. No

Quadro 4.3, está listado em quais Universidades foram encontrados trabalhos, as quantidades e a quais os PPG estão vinculados.

Quadro 4.3 - Relação dos trabalhos publicados na RSL com seus respectivos PPGs.

Universidade	Sigla	PPG*	Quantidade de Trabalhos
Universidade Federal de Santa Catarina	UFSC	PPGECT	03
Universidade Federal do Paraná	UFPR	PPGECM e PPGQ	02
Universidade Estadual do Centro Oeste	Unicentro	PPGQA	01
Universidade Estadual de Londrina	UEL	PPGQ	01
Universidade Estadual do Norte do Paraná	UENP	PPGEN	01
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	UTFPR	PROFQUI	01
Universidade Estadual de Maringá	UEM	PCM	01
Universidade Federal de São Carlos	UFSCar	PPGE e PPGQ	06
Universidade Federal de Minas Gerais	UFMG	PPGQ	02
Universidade Federal do Espírito Santo	UFES	PPGQ	01
Centro Federal de Educação Tecnológica	CEFET/RJ	PPCTE	02
Universidade Federal de Mato Grosso	UFMT	PPGQ	01
Universidade Federal de Goiás	UFG	PPGQ	01
Universidade Federal do Amazonas	UFAM	PPGQ	01

Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

*Programas: i) Programa de Pós-graduação em Química Aplicada (PPGQA); ii) Programa de Pós-graduação em Educação (PPGE); iii) Programa de Pós-graduação em Química (PGQ); iv) Programa de Pós-graduação em Química (PPGQ); v) Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e em Matemática (PPGECM); vi) Programa de Pós-graduação em Ensino (PPGEN); vii) Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI); viii) Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática (PCM); ix) Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT) e x) Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação (PPCTE).

A partir do Quadro 4.3, é possível identificar que os trabalhos encontrados na pesquisa se concentram em duas instituições do país: a UFSC e a UFSCar. As regiões Sul e Sudeste, que se destacaram nas publicações, podem ser resultado das regiões terem as maiores quantidades de IES do país. Dos trabalhos selecionados, 6 (seis) foram sob orientação da professora Doutora Vânia Gomes Zuin, e 3 (três) sob orientação do professor Doutor Carlos

Alberto Marques. Esses números são expressivos se comparados com as quantidades de publicações que foram selecionadas para a efetivação da pesquisa.

Brandão *et al.* (2018), ao mapearem publicações sobre EQV no Brasil a partir de redes sociais, destacam Vânia Gomes Zuin, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), e Carlos Alberto Marques, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), como grandes pesquisadores e influenciadores na área. Em contraste, outras instituições apresentam publicações pontuais sobre EQV, o que pode indicar a ainda limitada difusão dessa linha de pesquisa nos Programas de Pós-Graduação (PPG) voltados ao Ensino de Ciências.

Dos 24 (vinte e quatro) trabalhos selecionados, Quadros 4.1 e 4.2, 14 (quatorze) IES distintas são responsáveis por sua origem, sendo 10 (dez) federais e 4 (quatro) estaduais. Estes trabalhos resultam de diferentes PPG, abrangendo diversas áreas do conhecimento, o que evidencia o caráter interdisciplinar da QV.

Além da investigação sobre os PPG, também foi realizada uma análise dos Currículos Lattes⁴ dos autores responsáveis pelos 24 trabalhos selecionados na pesquisa. Ao todo, foram examinados 23 currículos, uma vez que um dos autores é responsável por dois trabalhos. A pesquisa teve como objetivo identificar quais autores realizaram suas investigações sobre QV em nível *stricto sensu*, verificando se houve continuidade na temática. Dentre os 23 autores, apenas 3 abordaram a QV no mestrado e continuaram com a temática no doutorado. Outros 3 autores também abordaram a QV no mestrado, mas não deram continuidade ao tema no doutorado. Além disso, 6 autores realizaram o mestrado em áreas diferentes e passaram a abordar a QV no doutorado. Por fim, 11 autores que trataram a QV em suas pesquisas de mestrado não seguiram para o doutorado.

A fim de tentar entender o motivo de muitos autores não terem dado continuidade, foi realizada uma pesquisa nos sites de cada um dos PPG das 14 (quatorze) IES relacionadas aos 24 trabalhos do Quadro 4.3. O objetivo dessa busca foi analisar como a QV está inserida nos PPG, ou seja, verificar se existe uma disciplina exclusiva, uma linha de pesquisa ou grupos de estudo relacionados, buscando compreender como essa temática vem sendo ofertada, é importante ressaltar que os PPG que foram levados em consideração é os que deram origem aos trabalhos aqui analisados.

Do Quadro 4.3, pode ser observado que na UFSCar foi apresentado o maior número de publicações, sendo 6 ao todo, desses, três do PPGE e três do PPGQ. Na UFSCar foi encontrado um grupo de pesquisa no programa PPGQ, a área de concentração de Química do PPGQ possui grupos de pesquisa relacionados aos seguintes temas: Ensino e Aprendizagem

⁴ Plataforma Lattes: [Busca Textual - Currículo Lattes](#)

de Química e Química Verde, Sustentabilidade e Educação. Já no PPGE não foram encontradas linhas de pesquisa, disciplinas e nem grupos de estudo, o que nos mostra que o orientador do autor(a) trabalha com QV.

Na UFSC os três trabalhos que foram analisados, Quadro 4.3, fazem parte do PPGECT, ao ser analisado o *site* do programa foi possível identificar um Grupo de Pesquisa (GP) chamado de Grupo de Investigação no Ensino de Química (GIEQ). Ao acessar o site do GIEQ, é possível identificar que dentre os objetivos está a pesquisa sobre as questões ambientais com enfoque na QV. É apresentado ainda um ambiente temático virtual de QV - Quimindex⁵. Há também um link no site que direciona as pessoas a um breve histórico e explicação do que é a QV e o que ela estuda. Não foi encontrada uma linha específica sobre a QV.

Na UFPR, apesar de ter dois trabalhos, não foram encontradas disciplinas, linhas de pesquisa e nem grupos de estudos relacionados à QV. Sendo assim, podemos sugerir que os trabalhos desenvolvidos no PPGECEM e PPGQ, foram de interesse dos docentes ou dos discentes. O mesmo acontece com o PPGQA da Unicentro, PPGQ da UEL, PPGEN da UENP, PROFQUI da UTFPR, PPGQ da UFMG, PPCTE do CEFET/RJ, PPGQ da UFG e o PPGQ da UFAM. O *site* do programa PCM da UEM, estava inacessível no momento da pesquisa, bem como do PPGQ da UFMT.

Os dados mostram que a QV ainda vem se consolidando em forma de linhas de pesquisas e grupos de estudos. É necessário um trabalho árduo pela frente para que mais programas venham desenvolver pesquisas com a temática, não sendo apenas um tema avulso, eventual ou descontínuo, mas consolidado.

4.2 CATEGORIAS EMERGENTES

Neste tópico, serão apresentadas as categorias emergentes, construídas a partir do processo de análise das Teses e Dissertações, com base nos procedimentos da ATD. Essa metodologia permitiu organizar os dados de forma interpretativa, possibilitando a identificação de padrões, sentidos e significados presentes nos trabalhos selecionados para a pesquisa.

Inicialmente foi realizada a categorização dos 24 trabalhos, a letra D para as Dissertações e T para as Teses. No Quadro 4.4, é possível identificar as abreviações utilizadas

⁵Link do Ambiente temático virtual de QV - QUIMIDEX: [Ambiente Temático QV – Laboratório de Ensino, Pesquisa e Divulgação da Ciência | QUIMIDEX](#)

para cada um dos trabalhos selecionados. Adiante serão abordadas cada uma das categorias e apresentados os trabalhos que fazem parte de cada uma delas.

Quadro 4.4 - Código utilizado na categorização, referente a cada trabalho.

Título	Codificação
1. Inserção da química verde em atividades experimentais de graduação.	D1
2. Construção e avaliação de um ambiente virtual de aprendizagem voltado à Educação em Ciências, Química Verde e Sustentabilidade Socioambiental.	D2
3. A Inserção da Química Verde no Curso de Licenciatura em Química do DQ-UFSCar: Um Estudo de Caso	D3
4. Otimização e padronização das práticas laboratoriais realizadas no departamento de química da Universidade Federal de Mato Grosso, com abordagem no contexto da química verde.	D4
5. Inserção dos princípios da química verde em uma disciplina experimental sob o enfoque ciência-tecnologia-sociedade.	D5
6. Química Verde: análise da emergência do estilo de pensamento a partir da perspectiva fleckiana	D6
7. Abordagem dos princípios da Química Verde por meio do lúdico na formação ambiental de profissionais da química	D7
8. A experimentação no curso de Licenciatura em Química da UFSCar (campus São Carlos): aproximações e distanciamentos à Química Verde	D8
9. Experimentos Verdes em Química Orgânica: uma proposta de aplicação do método da Estrela Verde para o curso Técnico em Química	D9
10. Experimentos de química verde numa abordagem CTS no ensino médio: ferramenta de construção de aprendizagens e de promoção do desenvolvimento sustentável.	D10
11. Divulgação científica sobre a química verde em vídeo: reflexões dialógicas.	D11
12. A inserção da química verde em aulas de química orgânica no ensino superior : uma pesquisa ação	D12
13. A química verde e a aprendizagem significativa: uma proposta de abordagem alternativa para ensino de química verde.	D13
14. Abordagem da química verde no ensino de química: a eficiência do ácido nítrico diluído no preparo de amostras de sedimentos	D14
15. Proposição de Sequência Didática para o tema Eletroquímica no Ensino Técnico Subsequente Abordando as Temáticas Química Verde, Sustentabilidade e Educação Ambiental.	D15
16. Química Verde no Ensino Superior de Química: Estudo de Caso Sobre as Práticas Vigentes em Uma IES Paulista	T1
17. Contribuições da inserção do enfoque CTSA e da Química Verde na Formação de Licenciandos em Química	T2

18. A Circulação de Conhecimentos em Química Verde em Teses e Dissertações: implicações ao seu ensino e à Formação de Professores de Química	T3
19. As tecnologias educacionais e a teoria crítica: análise da compreensão de licenciandos em química acerca dos ambientes virtuais, química verde e sustentabilidade socioambiental.	T4
20. Os tipos de racionalidade na Química Verde e suas relações com o ensino	T5
21. Motivações de Professores ao uso de um Ambiente Temático Virtual para simulações de rotas de síntese em Química Verde	T6
22. Ensino de Química Verde no Ensino Médio e Técnico com Enfoque na Experimentação e Abordagem CTS	T7
23. Química Verde por meio da Abordagem CTS: A Construção e Aplicação de uma Disciplina em um Curso de Formação de Professores	T8
24. A Prática Experimental Investigativa Crítica Verde na Licenciatura em Química de uma Universidade Federal do Estado de São Paulo: Um Estudo de Caso	T9

Fonte: O Autor (2024).

Na codificação apresentada no Quadro 4.4, os trabalhos foram organizados em ordem anual, do mais antigo ao mais recente, aplicando o mesmo critério das T e D. É importante destacar que dentro de um mesmo ano, a ordem foi definida pela sequência em que os trabalhos foram encontrados durante a pesquisa.

Para essa etapa inicial de análise, foram lidos na íntegra os objetivos específicos, o objetivo geral, a conclusão, os resultados e discussões, a metodologia e as considerações finais. A partir dessa leitura, os excertos dos trabalhos foram extraídos e organizados para a identificação das categorias que emergiram diretamente do processo de leitura. Após a análise de todos os trabalhos, considerando os itens mencionados, destacaram-se características em comum, as quais deram origem às categorias.

No Quadro 4.5, estão presentes os descritores que definem e caracterizam cada uma das categorias e os trabalhos que fazem parte de cada categoria. É importante ressaltar que na ATD, as pesquisas podem fazer parte de mais de uma categoria, ou seja, um mesmo trabalho pode ter elementos que o caracterizam em diferentes categorias de abordagem.

Quadro 4.5 - Categorias Emergentes Sobre Ensino de QV e seus descritores.

Categorias/subcategorias	Descritores	Trabalhos
C1. Propostas Didáticas em QV	- Apresentar uma proposta didática para a inserção da QV no ensino de Química (qualquer modalidade de ensino);	D1, D2, D3, D4, D5, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D13, D14, D15, T1, T2, T4, T6, T7,

Subcategorias - Foco exclusivo na experimentação; - Propostas para além da Experimentação - Propostas Contextualizadas	- Apresentar algum modelo de abordagem da QV; - Possuir uma metodologia de ensino bem definida; - Experimentação Verde (EQV) e/ou Utilização de Métricas Verdes (métrica holística, estrela verde); - Utilização dos princípios da QV para a elaboração de práticas experimentais mais verdes ou adequação de roteiros experimentais com ênfase na QV.	T8 e T9
C2. Química Verde e Currículo Subcategorias - Trabalhos que investigam a Qv no currículo; - Trabalhos que tentam inserir ou inseriram a QV no currículo	- Alterações dos currículos de cursos que contém alguma disciplina de química seja ela experimental ou não, em diferentes modalidades, propondo uma reformulação através da inserção da QV nos mesmos; - Análise de currículo ou documentos que norteiam as disciplinas de QV, verificando a proximidade e o distanciamento que os mesmos possuem com a QV; - Identificar a QV na formação de professores e sua relevância; - Levantar reflexões que possam contribuir para mudanças curriculares.	D4, D7, D8, D12, T1, T2, T6, T7, T8 e T9
C3. Análise Epistêmica da QV	- Utilização de referências epistemológicas para análise da QV em um contexto real; - Olhar de diferentes epistemólogos para a compreensão da importância da QV na atualidade; - Análise histórico-epistemológica de conceitos que se relacionem a QV ou a sustentabilidade; - Análise de diferentes tipos de racionalidades para abordagem da QV;	D6, T3 e T5
C4. Revisão de Literatura sobre o Ensino de QV	- Discussão teórica acerca de conteúdos que estão diretamente relacionados a Química verde; - Revisões de literatura; - Análise de referenciais; - Sistematização crítica da literatura.	D6, T1, T3, T5 e T7

Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

Cada uma das categorias apresentadas acima foi analisada de forma separada, evidenciando os elementos e as características presentes nos trabalhos que são comuns entre eles e que os colocam em cada uma das categorias. A seguir serão apresentados também os excertos retirados dos trabalhos e que justificam a permanência deles em determinada categoria.

C1 - Propostas Didáticas em QV

A categoria C1, composta por 21 trabalhos, foi nomeada como “Propostas Didáticas em QV” pois os trabalhos que a compõem apresentam alguma abordagem da QV em qualquer uma das modalidades de ensino, e está dividida em três subcategorias: i) foco exclusivo na experimentação; ii) propostas para além da experimentação e iii) propostas contextualizadas. Essa divisão foi necessária para melhor organizar os trabalhos que possuem elementos da C1, já que essa categoria é a que mais possui trabalhos.

O Quadro 4.6 a seguir, apresenta como ficaram dispostos os trabalhos e subcategorias da Categoria C1 -Propostas Didáticas em QV, bem como seus descritores.

Quadro 4.6 - Subcategorias C1 e os trabalhos que as compõem

Subcategorias de C1	Descrição	Trabalhos
C1.1 - foco exclusivo na experimentação	Aborda a QV exclusivamente nas aulas experimentais	D1, D2, D4, D5, D8, D9, D10, D12, D13, D14 e T1
C1.2 - propostas para além da experimentação	Aborda a QV nas aulas teóricas e experimentais	D7, D15, T4, T6 e T9
C1.3 - propostas contextualizadas	Aborda a QV em aulas teóricas e experimentações e relaciona a QV com uma abordagem CTS	D3, D11, T2, T7 e T8

Fonte: O Autor (2024).

A categoria C1-Propostas Didáticas em QV, é a maior categoria com 21 trabalhos, sendo subdividida nas em: C1.1 - foco exclusivo na experimentação, com 11 trabalhos ; C1.2- propostas para além da experimentação, com 5 trabalhos e C1.1 - propostas contextualizadas com 5 trabalhos.

Os trechos foram retirados de diferentes partes dos trabalhos, como da Metodologia (M), Considerações Finais (CF), Resultados ou Resultados e Discussões (RD), Objetivos Específicos (OE), Introdução (IN) e Conclusão (CI), cujas siglas serão doravante usadas para indicar a localização dos excertos. É importante ressaltar que os números que aparecem ao lado dos OE, é a ordem que ele está disposto no texto.

A subcategoria C1.1 com foco exclusivo na experimentação, é composto pelo maior número de produções, totalizando 11 dos 21 trabalhos que possuem elementos da C1. Os trabalhos que estão presentes nesta subcategoria, focaram em inserir os princípios da QV em aulas experimentais, ou seja, focaram quase exclusivamente na experimentação.

O trabalho D1 aborda os princípios da QV para o planejamento de síntese, e tinha por objetivo aplicá-los em atividades de cunho experimental que foram desenvolvidas em um curso superior de Química nas disciplinas de Química Analítica e Química Orgânica Experimental. O OE deste trabalho foi:

(D1, OE1, p.3, grifo próprio) *Avaliar e adequar os roteiros experimentais com a diminuição das quantidades de reagentes utilizados e consequentemente, a quantidade de resíduos gerados.*

No trabalho D2, criou-se um ambiente virtual de ensino e aprendizagem dentro da plataforma *Moodle*, para auxiliar os acadêmicos de um curso de Licenciatura em Química a realizarem atividades nas disciplinas de Experimentação para o Ensino de Química 1 e 2. Já a pesquisa D4 teve como objetivo investigar quais são as práticas realizadas no departamento de Química da UFMT que poderiam estar produzindo resíduos tóxicos, como demonstrado abaixo.

(D2, O, p.22, grifo próprio) *Tanto nas disciplinas, quanto no ambiente virtual foi dada especial atenção aos temas relacionados à experimentação, com ênfase à sustentabilidade socioambiental e Química Verde.*

(D4, CI, p. 107, grifo próprio) *Foram produzidos cartazes para a conscientização de cuidados com os resíduos gerados, e para auxílio de descarte adequado de resíduos.*

No trabalho D5 a pesquisa ocorreu em uma IES pública de Manaus-AM, na qual foi realizado um levantamento das atividades práticas da disciplina de Química Geral Experimental, a fim de investigar os princípios da QV e a abordagem CTS. No trabalho D8, foi investigado a inserção dos princípios da QV em propostas de experimentação que fazem parte dos documentos que fundamentam o curso de Licenciatura em Química da UFSCar.

(D5, M, p.53, grifo próprio) *Adaptar e/ou desenvolver experimentos com base nos objetivos da disciplina, atendendo ao máximo aos princípios da QV.*

(D8, OE2, p.17, grifo próprio) *Associar os princípios da Química Verde e os Princípios da Educação em Química Verde (PEQV) com vistas às sugestões de encaminhamentos das propostas experimentais.*

O trabalho D9 teve como objetivo realizar a inserção dos princípios da QV na formação de técnicos em Química de nível médio, que ocorreu através de uma sequência didática que buscou identificar os princípios da QV em práticas experimentais. No trabalho D10, foram utilizadas ferramentas tecnológicas baseadas na QV em aulas experimentais das disciplinas de Química Geral, Físico-Química, Química Orgânica e Desenvolvimento Sustentável. A D12 é uma pesquisa na qual verificou-se, através da metodologia de

pesquisa-ação, como a inserção dos princípios da QV podem impactar na toxicidade e na geração de resíduos. A pesquisa ocorreu na disciplina de Química Orgânica Experimental de uma IES no curso de Farmácia. Na pesquisa D13, a QV foi apresentada como uma proposta ecológica aos estudantes do curso de bacharel em Ciências Biológicas do Curso de Biologia do Centro Universitário das Faculdades Integradas de Ourinhos – UniFio/SP, com o intuito de elaborar as atividades pedagógicas e as aulas práticas experimentais no EQV. Os excertos abaixo foram retirados dos OE e dos RD:

(D9, OE, p.11, grifo próprio) *Seleção de um dos procedimentos experimentais e sua análise pelo pesquisador, utilizando a metodologia da Estrela Verde.*

(D10, OE1, p.15, grifo próprio) *O primeiro deles é propor o uso de aulas experimentais baseadas em Química Verde, no ensino de tópicos de Química Geral, Físico-Química, Química Orgânica e Desenvolvimento Sustentável.*

(D12, RD, p. 55, grifo próprio) *De posse dos 12 Princípios cada experimento foi analisado, a fim de perceber quais reagentes poderiam ser alterados, se as quantidades poderiam ser reduzidas para gerar menos resíduos, se existiam vidrarias ou equipamentos que tornassem o experimento mais eficiente e menos perigoso.*

(D13, OE1, p.114) *O trabalho tem por objetivo desenvolver uma sequência didática, pautada nos princípios da Química Verde.*

A D14 é uma pesquisa que realiza a abordagem da QV e seus princípios com o Ensino de Química, sendo realizada para entender a eficiência do ácido nítrico diluído em preparo de amostras de sedimentos. A pesquisa é realizada no curso de graduação em Química da UFES.

(D14, CF, p. 80, grifo próprio) *Este trabalho apresentou a abordagem da Química Verde com viés de integração à temática de preparo de amostras utilizando ácido nítrico diluído, no ensino de química, no curso de graduação em Química, da UFES.*

No trabalho T1 é avaliado o grau de verdura química dos experimentos com a utilização de métricas holísticas, os quais são fundamentados nos princípios da QV. A pesquisa ocorreu com bacharelados e licenciandos em Química da UFSCar.

(T1, M, p. 88, grifo próprio) *Além da observação das aulas práticas pela pesquisadora - com o intuito de se verificar aspectos relevantes na condução dos experimentos - foram aplicados outros métodos de coleta de dados.*

Após a análise dos excertos, é possível afirmar que existem diferentes estratégias para abordar a QV na experimentação e que a maioria delas possui como foco a abordagem dos princípios da QV em práticas experimentais, o que pode ser evidenciado na subcategoria C1.1

e como já foi apontado anteriormente por Roloff (2016). Andrade e Zuin (2021) acreditam que a experimentação pode ser uma forte aliada para a busca do EQV.

Essa concepção pode ser evidenciada em um estudo de Melo e Souza (2022), que, ao realizarem uma revisão de 2011 a 2021 sobre a QV no Ensino de Química, observaram que em seus trabalhos selecionados a estratégia didática mais utilizada para trabalhar a QV foi a experimentação. Algo semelhante pode ser encontrado no trabalho de Gaspar *et al.* (2023), que ao realizar um mapeamento sobre o EQV em nível nacional, de 2017 a 2022, constatou que a experimentação é uma das palavras-chave mais utilizadas quando refere-se a QV, perdendo apenas para a palavra-chave Química Verde.

Marcelino e Marques (2023), ao realizarem uma análise de acoplamento bibliográfico de 1200 trabalhos, com o recorte temporal de 1990 a 2022, obtiveram a maior quantidade de trabalhos com ênfase na experimentação, sendo o maior agrupamento com o tema citante “a inserção da QV no ensino (foco no laboratório de química orgânica)” (Marcelino; Marques, 2023, p.237).

Os trabalhos classificados na subcategoria C1.1 indicam que o método experimental ainda é amplamente utilizado. É importante ressaltar que não há uma forma correta ou incorreta de abordagem; entretanto, conforme os modelos apresentados anteriormente, o foco na experimentação está mais associado ao modelo 1. Isso não significa, porém, que os trabalhos desta subcategoria não possam incorporar elementos presentes em outros modelos.

A subcategoria C1.2 intitulada como propostas para além da experimentação, é caracterizada por uma abordagem da QV tanto em aulas experimentais quanto nas aulas teóricas, além de ser uma proposta que traz abertura para a participação dos estudantes, seja na realização das aulas ou nas discussões acerca dos conceitos da QV.

Cinco trabalhos que são D7, D15, T4, T6 e T9, abordam propostas didáticas que não encontram-se apenas vinculadas à experimentação. Esses trabalhos demonstram a utilização de estratégias para a inserção da QV no Ensino de Química, como por exemplo, através do lúdico, atividades de pesquisa, etc. Os excertos que comprovam a subcategoria e a categoria destes trabalhos, foram retirados dos OE, O e M.

No trabalho D7 foi realizada uma pesquisa que investigou a inserção dos temas relacionados à QV com ênfase nos seus 12 princípios, utilizando uma atividade lúdica intitulada "Júri Químico". No trabalho D15 foi proposta uma sequência didática como produto educacional, fundamentada nos três momentos pedagógicos e alinhada às perspectivas da QV, Sustentabilidade e Educação Ambiental. A aplicação dessa sequência foi realizada com turmas do Ensino Médio, tendo como tema central a Eletroquímica.

(D7, OE3, p.22, grifo próprio) *elaborar e discutir a utilização de novas estratégias de ensino sobre a QV, relacionadas com o lúdico, que possam contribuir para a elaboração de diferentes propostas pedagógicas de ensino e aprendizagem.*

(D15, OE1, p. 15, grifo próprio) *Utilizar estratégias diversificadas para definir os conceitos e princípios da Química Verde, Sustentabilidade e Educação Ambiental na Educação Profissional em nível médio.*

No trabalho T4, foi realizado um debate sobre a educação com enfoque nas perspectivas socioambientais. O debate possuía o intuito de analisar e identificar diferentes potencialidades que as ferramentas virtuais teriam para esse fim. A T6 é caracterizada pela criação e elaboração de um ambiente virtual que aborda simulações de sínteses e é analisada quais são as possíveis contribuições que o ambiente virtual pode trazer para os professores de Química. No trabalho T9 foi utilizada uma abordagem metodológica chamada de “Abordagem Experimental Formativa”, que visa a realização da prática experimental de forma mais sustentável e crítica.

(T4, O, p. 10, grifo próprio) *Buscamos entender se a educação voltada para a formação crítica permite, aos sujeitos da pesquisa, repensar e analisar diversas práticas educativas, em especial, as pertinentes aos sistemas virtuais de ensino e aprendizagem ou mesmo redes sociais.*

(T6, M, p. 102, grifo próprio) *Ressaltamos que a pesquisa aqui desenvolvida envolve a produção e o uso de um ATV-QV, o qual possibilita simulações de sínteses químicas baseadas na QV e a análise das motivações proporcionadas à seus usuários, no caso, professores com habilitação em Licenciatura em Química.*

(T9, R, p. 5, grifo próprio) *Esta pesquisa buscou compreender a resignificação da formação crítica na Educação Química pelas práticas experimentais investigativas verdes.*

Rüntzel (2022) destaca que ao realizar o EQV através de diferentes abordagens, como é o caso do Ambiente Temático Virtual de Química Verde (ATV-QV) por exemplo, propõe-se a satisfação do contato com um novo conhecimento, além de ser um material auxiliar e de apoio aos professores que desejam utilizar para realizar uma abordagem diferenciada em suas aulas de Química. De acordo com Costa (2018), as atividades lúdicas para a abordagem da QV possibilitam aos alunos a construção de argumentos com base em conceitos científicos, além de proporcionar uma aprendizagem divertida.

A terceira subcategoria, C1.3, trata-se da abordagem da QV tanto em aulas experimentais quanto teóricas, porém é uma abordagem crítica que relaciona a QV com questões sociais, econômicas e ambientais. Neste tipo de abordagem, o professor traz abertura para que os estudantes possam participar ativamente de práticas e decisões referentes à QV com o intuito de torná-los cidadãos mais conscientes e críticos em relação à abordagem da

QV. Aqui, se destacam os trabalhos que trazem essas propostas ainda mais contextualizadas ao tratar-se do EQV, ou seja, trabalhos que não se limitaram apenas aos princípios da QV, mas que conseguiram abordar ela de uma forma crítica.

Os trabalhos que se caracterizam por esse tipo de abordagem são: D3, D11, T2, T7 e T8. Na pesquisa D3, foram aplicados e analisados módulos para a inserção de conteúdos previstos na ementa de uma disciplina experimental do curso de Licenciatura em Química da UFSCar. A abordagem foi realizada com enfoque CTS e QV.

O trabalho D11 desenvolveu e reformulou recursos educacionais embasados em um vídeo de divulgação científica, sendo elaborada também uma sequência didática com o tema soluções para alunos do Ensino Médio.

(D3, RD, p.52, grifo próprio) *A proposta didática investigativa intencionou, por meio do procedimento experimental integrado à discussão teórica, **sensibilizar os estudantes de Química para as relações do empreendimento tecnocientífico e seus produtos com as questões ambientais, considerando o movimento da Química Verde e a formação inicial de professores no contexto brasileiro.***

(D11, Cl, p. 87, grifo próprio) *O processo de construção do recurso educacional contribuiu **para reflexão do quão complexo pode ser um material que pretende inovar valorizando o processo de desenvolvimento do conhecimento científico.***

No trabalho T2, foi abordado a inserção do enfoque CTSA e QV no currículo de um curso de Licenciatura em Química, e buscou-se avaliar as suas respectivas contribuições. O trabalho T7 tinha como objetivo a inserção dos conceitos de QV, também com foco na abordagem CTS. Já no trabalho T8, foi criada e aplicada uma disciplina que aborda os conteúdos da QV em um curso de Especialização em Ensino de Química. Os trechos que ratificam essas considerações podem ser observados a seguir.

(T2, M, p. 35, grifo próprio) *As atividades envolveram **levantamento de concepções prévias**, análise de materiais didáticos ou paradidáticos pré-selecionados pela pesquisadora, leituras, aulas expositivas dialogadas, exposição de vídeo, apresentações orais, elaboração de unidades didáticas e avaliações individuais...*

(T7, CF, p. 164, grifo próprio) *Outro aspecto importante do curso foi o uso da experimentação com o intuito de mostrar a relevância dos conteúdos. **As aulas presenciais mostraram que a motivação inicial para as aulas de laboratório não sustenta o processo de ensino e aprendizagem**, pois, embora aumente a curiosidade de estar no local e manipular substâncias e equipamentos, não estimula os estudantes a pesquisarem.*

(T8, CF, p. 250, grifo próprio) *Foi possível, então, observar que apenas três grupos propuseram sequências que abordam alguma **temática verde envolvendo a abordagem CTS mais aprofundada, debatendo criticamente e fazendo os estudantes refletirem** sobre eventuais tomadas de decisão relacionadas aos temas.*

As abordagens mais contextualizadas quando abordadas no Ensino de Química, incentivam o pensamento crítico em relação à QV, à sociedade e ao meio ambiente. Sandri e Santin Filho (2019) destacam que essa abordagem crítica da QV no ensino visa a formação de cidadãos que são capacitados para analisar de forma mais ampla os impactos da Química no meio ambiente e na sociedade em geral. Os autores Goes *et al.* (2013), em sua pesquisa, aborda três modelos, sendo o primeiro uma abordagem tradicional, o segundo uma mais contextualizada e o terceiro é modelo com a abordagem sócio-científica sendo essa a mais crítica. Os modelos 2 e 3, de acordo com os autores, são os mais complexos de serem alcançados, podendo ser essa a explicação para que as duas últimas subcategorias da C1 possuam menos trabalhos se comparadas com a primeira.

A análise dos trabalhos que compõem a C1 evidenciou que grande parte das propostas didáticas relacionadas à EQV ainda se concentra na experimentação, com foco principal nas atividades práticas em laboratório. Contudo, também foram identificadas iniciativas que buscam ampliar essa abordagem, incluindo discussões teóricas e, em menor número, propostas mais contextualizadas, com aproximações à perspectiva CTS. Esses resultados indicam avanços, mas também reforçam a necessidade de ampliar a inserção da EQV em propostas pedagógicas que promovam uma formação mais crítica e integrada. A próxima categoria aborda especificamente as relações entre a EQV e as questões curriculares, ampliando a compreensão sobre como essa temática tem sido incorporada na formação docente.

C2 -Química Verde e Currículo

A C2 é a segunda categoria identificada durante o processo da ATD, com 10 trabalhos e foi nomeada "Química Verde e Currículo". Ela é composta por dez trabalhos, organizados em duas subcategorias: C2.1 - Trabalhos que investigaram a presença da QV no currículo, com 2 trabalhos e C2.2 - Trabalhos que tentaram inserir ou inseriram a QV no currículo, com 8 trabalhos. Essa inserção pode ser por meio de abordagens pedagógicas específicas, como atividades práticas, em forma de disciplina, sequências didáticas ou projetos interdisciplinares. Essa categoria permitiu analisar se a QV está inserida nos currículos de Química e investigar as formas como essa inserção é realizada. O Quadro 4.7 apresenta como os trabalhos ficaram alocados nas subcategorias da C2.

Quadro 4.7 - Subcategorias da C2 e trabalhos que as compõem.

Subcategorias de C1	Descrição	Trabalhos
C2.1 - trabalhos que investigaram a QV no currículo	Estudos sobre a presença da QV nos currículos.	D7 e D8
C2.2 - trabalhos que tentaram inserir ou inseriram a QV no currículo	Pesquisas que buscaram integrar a QV ao currículo.	D4, D12, T1, T2, T6, T7, T8 e T9

Fonte: O Autor (2025)

Os trabalhos presentes na categoria C2.1 procuraram analisar como a QV tem sido abordada no currículo, considerando todos os níveis de ensino. Além dessa análise, os autores desses trabalhos também identificaram as lacunas e o contexto em que a QV era abordada nesses currículos, por exemplo, se estava presente em forma de disciplina específica, como tópico da ementa de outra disciplina, ou se era abordada de forma transversal, envolvendo a QV em vários componentes curriculares além de compreender como essa abordagem era realizada.

A subcategoria C2.1 (Trabalhos que investigaram a QV no currículo) é composta pelos trabalhos D7 e D8, nos quais foram realizadas as investigações de currículos, a fim de entender se era feita a inserção da QV ou não e, caso fizessem, como era essa abordagem. Na D7, foram analisados os Projetos Pedagógicos Curriculares (PPC), de Química das instituições de Ensino Superior de Goiás.

(D7, RD, p. 66, grifo próprio) *...este trabalho foi dividido em duas etapas, sendo a primeira estruturada com base na análise documental dos PPC de Química das Instituições de Ensino Superior (IES) de Goiás para **identificar a inserção da QV nos currículos**.*

Na D8, foi analisado o Projeto Pedagógico (PP) do curso de Química da UFSCar, para compreender como a QV estava inserida e qual a influência que essa inserção traz na formação inicial de licenciandos em Química.

(D8, OG, p.17, grifo próprio) *Esta pesquisa teve como objetivo principal **investigar de que maneira os princípios da Química Verde estão inseridos nas propostas de experimentação presentes nos documentos** relativos ao curso de Licenciatura em Química da UFSCar do campus de São Carlos.*

Para Costa (2018, p. 22), é necessário “trazer reflexões que possam contribuir para mudanças curriculares que visem a construção crítica do contexto ambiental”. Após realizar sua pesquisa sobre a inserção da QV nos currículos, a autora destaca que essa inserção nos níveis de graduação ainda é limitada. Um dos principais obstáculos apontados por Costa

(2018) é o próprio currículo, que, em muitos casos, não contempla de forma adequada ou suficiente os conteúdos relacionados à QV e à sustentabilidade, comprometendo a formação inicial dos professores. Para que haja uma melhoria, no que diz respeito ao currículo e a QV, Costa (2018, p. 70) defende que:

A partir das discussões sobre a não inserção da QV nos currículos, entende-se que essa necessidade existe, tendo em vista tanto o perfil do profissional da Química quanto as próprias exigências em termos de exame dos cursos, e essa apropriação pode-se dar de várias formas seja em disciplinas, seja em projetos, considerando-se o ensino e a pesquisa.

Para Tasso (2018), é de suma importância a presença dos conteúdos que envolvem questões socioambientais e que também se relacionam com uma abordagem CTS em documentos como o PPC ou PP de cursos de Licenciatura em Química, com o intuito de induzir a momentos de debates e reflexões, que associam com os problemas socioambientais e que por vezes parecem ser ocultos em currículos de formação de professores.

A subcategoria C2.2 é composta por 8 trabalhos que, por meio de alguma intervenção, buscaram inserir ou efetivamente inseriram a QV nos currículos de Química. Foram consideradas diversas formas de inserção, como disciplinas, tópicos, cursos ou outras abordagens. Inclusive, intervenções mais críticas que não obtiveram êxito também foram analisadas, desde que representassem uma tentativa de integrar a QV ao currículo.

Os trabalhos D4, D12, T1, T2, T6, T7, T8 e T9 destacam-se por usarem estratégias de inserção da QV no currículo de Química. A D4 é um trabalho no qual adaptou-se às práticas de laboratório do departamento de Química da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), sendo elaboradas na perspectiva da QV.

(D4, OE1, p.61, grifo próprio) *Analisar e sistematizar as aulas práticas já ministradas pelos professores do Departamento de Química da UFMT.*

No trabalho D12, foram inseridos conceitos da QV nas aulas de Química Experimental do curso de farmácia em uma IES. Os experimentos que eram realizados na disciplina foram investigados e adequações foram propostas para que a experimentação se aproximasse dos princípios da QV.

(D12, OE3, p. 21, grifo próprio) *Investigar os experimentos específicos da disciplina de Química Orgânica Experimental e propor adequações ou novos procedimentos que atendam aos princípios da Química Verde.*

No trabalho T1, foi investigado propostas didáticas que eram voltadas a atividades laboratoriais, a fim de realizar a inserção dos conteúdos relacionados com a QV. Esse trabalho

ocorreu no departamento de Química de uma IES paulista. O trecho foi retirado da metodologia da T1, ilustrando a sua investigação em relação a QV em documentos curriculares

(T1, M, p. 92, grifo próprio) *Com os experimentos de interesse em mãos e ciente das particularidades destes foram propostas adequações e/ou experimentos novos, mantendo os objetivos educacionais das práticas, definidos nas ementas das disciplinas selecionadas, com a finalidade de se contemplar os princípios da Química Verde.*

A pesquisa T2 teve como foco a inserção do enfoque CTS e a QV no currículo de um curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal do Paraná (IFPR- campus Palmas). Essa inserção ocorreu com o auxílio das ementas da disciplina de Prática como Componente Curricular (PCC), Metodologia do Ensino de Química (MEQ) e Instrumentação do Ensino de Química I e II (IEQ).

(T2, OE3, p.21, grifo próprio) *Inserir o enfoque CTSA na disciplina de MEQ mediante uma SD e por meio dessa base teórica favorecer apreensões conceituais que se aproximem dos ideais da Alfabetização Científica, bem como favorecer apreensões procedimentais que se convertam na aplicação dessa abordagem na contextualização dos conteúdos químicos, quando da elaboração de unidades didáticas.*

Na pesquisa de T6, foi criado um ambiente virtual chamado de ATV-QV, para a inserção dos princípios e dos conceitos da QV através da experimentação virtual, visando a contextualização e a segurança das práticas químicas, além de auxiliar os professores para que possam abordar a QV de forma mais interativa.

(T6, IN, p. 19, grifo próprio) *Ao visitar o ATV-QV, alunos e professores podem simular reações de síntese química, aplicando métricas de verdura química problematizando assim, aspectos de segurança física, ambiental e química.*

Na pesquisa de T7, foi realizado um curso de extensão para alunos de duas instituições públicas federais, sendo no formato presencial e remoto (por causa da pandemia), a fim de abordarem conceitos como os princípios da QV, economia circular, pegada ecológica, sustentabilidade, métricas verdes, entre outros.

(T7, R, p. 4, grifo próprio) *Esta pesquisa teve por objetivo identificar e problematizar contribuições do ensino de QV na formação de alunos do ensino médio e técnico, centrado na experimentação e por meio da abordagem CTS. Para isso, foi realizado um curso de extensão – cujo público-alvo foram os estudantes de duas instituições públicas federais.*

Na pesquisa T8 foi criada e aplicada durante um período de dois anos, uma disciplina em um curso de Especialização em Ensino de Química a partir da abordagem CTS, para

trabalhar os conceitos de QV. Na pesquisa T9, ocorreu a inserção dos princípios da QV em aulas de Química para o ensino básico, por meio de uma sequência didática.

(T8, R, p. 8, grifo próprio) *Com isso, esse trabalho teve como objetivo **criar e aplicar, em dois anos distintos, uma disciplina que trabalha conceitos de QV em um curso de Especialização em Ensino de Química a partir da abordagem CTS.** A construção da disciplina buscou contemplar as referências primárias de QV e CTS para que os cursistas, ao final, indicassem uma proposta de inserção no ensino básico, que foi posteriormente categorizada.*

(T9, OE, p. 15, grifo próprio) *Analisar como um grupo de licenciandos de Química compreendem, constroem e aplicam **práticas experimentais orientadas pela abordagem experimental de investigação e pelos pressupostos da Química Verde e Sustentável.***

Outros autores também têm estudado, e continuam estudando, a abordagem da QV nos currículos de formação de professores de Química, analisando como essa mudança pode impactar a formação docente e, conseqüentemente, a aprendizagem dos estudantes. Essa mudança, por mais simples que pareça ser, pode trazer resultados significativos quando alicerçadas nos princípios e conceitos da QV. Souza (2016), ao substituir as substâncias que apresentavam nocividade à saúde e ao meio ambiente, conseguiu minimizar ou até mesmo eliminar essas substâncias das práticas laboratoriais, não interferindo nos experimentos e nem na forma como os professores os abordaram. A autora Kostianovicz (2010) ressalta que a inserção da QV na formação de futuros profissionais químicos proporciona e disponibiliza aos alunos uma aprendizagem que se relaciona com o cotidiano, trazendo o entendimento das atuais demandas da sociedade e os tornando agentes de transformação social.

De acordo com Marques e Machado (2018), ao estudarem o currículo e analisarem propostas didáticas sobre experiências e fundamentos teóricos sobre o EQV, relatam que a presença dela pode situar-se no currículo de diferentes formas. A primeira é chamada de enxerto, considerada a vertente mais forte pelos autores, pois busca atribuir atividades teóricas ou práticas de QV em disciplinas já existentes nos currículos de Química, como apontados na D4, D12 e T1. A segunda vertente diz respeito à inserção da QV no formato de disciplina ou de um curso específico, como é o exemplo dos trabalhos T7 e T8. A terceira vertente possui um aspecto mais complexo e elaborado em relação às anteriores, pois busca inserir a EQV de forma transversal, ou seja, integrada a diferentes disciplinas e conteúdos ao longo do currículo, e não apenas como um tema isolado ou uma disciplina específica. Essa abordagem demanda um planejamento curricular mais articulado, além de uma formação docente voltada para a interdisciplinaridade, o que pode explicar a menor quantidade de trabalhos encontrados nessa categoria, como identificado na T2 (Marques; Machado, 2018).

Entre os trabalhos apresentados na categoria C2, percebe-se a incipiência da integração da QV no currículo, sendo que ao se tratar de sua abordagem como disciplina ou curso, a quantidade é ainda muito pequena. É importante destacar que qualquer forma de abordagem da QV é válida e relevante, especialmente quando se busca ampliar a discussão sobre o tema, uma ação essencial para promover sua inserção nos currículos e fortalecer sua presença na área de ensino de maneira geral.

C3 - Análise Epistêmica da QV

Os trabalhos presentes na categoria C3 buscaram explicar ou analisar a inserção da QV através de alguma vertente epistemológica, a fim de buscarem determinadas reflexões para os fundamentos teóricos da QV. Percebe-se também que os trabalhos que estão presentes aqui nesta categoria buscam respostas para uma análise mais crítica sobre os princípios da QV e suas práticas no geral. Aqui se incluem, portanto, as Teses e Dissertações que abordam essa filosofia de uma forma epistemológica, discutindo a QV e o seu Ensino. Na terceira categoria estão os trabalhos D6, T3 e T5 e, entre eles, há aqueles que focaram em um determinado epistemólogo como embasamento para explicações dos conceitos da QV que, neste caso, foram D6 e T3. O outro trabalho (T5) se preocupou em avaliar a racionalidade da QV, sem se deter a um determinado epistemólogo.

Na pesquisa D6, investigou-se o estado da arte sobre a emergência do estilo de pensamento em relação a QV no Brasil, a fim de caracterizar os conceitos de Ludwik Fleck a partir de artigos publicados no periódico nacional Química Nova (QN).

(D6, Cl, p. 145, grifo próprio) *...identificar e analisar os conceitos de Fleck ao longo da emergência do Estilo de Pensamento QV no Brasil, em artigos publicados na revista QN.*

No trabalho T3 procurou-se identificar o conceito da circulação de conhecimentos e práticas que envolvem a QV, com foco em trabalhos de nível *stricto sensu*, utilizando-se também a epistemologia de Fleck para a categorização.

(T3, In, p. 34, grifo próprio) *Para tanto, nos apoiaremos na epistemologia de Ludwik Fleck (1986, 2010), especialmente algumas de suas categorias, a saber: Estilo de Pensamento (EP), Coletivo de Pensamento (CP), Circulo Esotérico, Circulo Exotérico, Complicação e Circulação intracoletiva e intercoletiva de ideias.*

A autora Moreira (2018), destaca que o estilo de pensamento referente a QV inicia-se no Brasil no final do século XX e no início do século XXI, decorrente de problemas

ambientais que eram nocivos à saúde humana. Após a sua análise embasada nas ideias de Fleck, Moreira (2018) defende que agir e pensar de acordo com a filosofia da QV, é também ir em busca da mudança de atitudes, ação essa que se mostra crescente e presente na atualidade. “Hoje, já se tem coletivos, como as sociedades governamental, industrial e acadêmica compartilhando pensamentos a fim que a QV seja colocada em prática, encontrando soluções para tais problemas.” (Moreira, 2018, p. 77).

A pesquisa desenvolvida em T5 aborda uma discussão dos diferentes tipos de racionalidades presentes nas produções de químicos verdes, e como essas racionalidades contribuem para o combate de problemas ambientais e principalmente qual é a sua importância no Ensino de Química.

(T5, C, p. 168, grifo próprio) *Conforme apresentamos na Introdução, o objetivo desta pesquisa é discutir as relações entre os tipos de racionalidade presentes nas produções dos químicos praticantes da QV e sinalizar implicações ao Ensino de Química.*

Dentre as vertentes epistemológicas identificadas nas pesquisas sobre QV destaca-se a abordagem baseada na epistemologia Fleckiana, defendida por alguns autores que estudam e pesquisam o tema. Segundo Roloff (2018), a epistemologia proposta por Fleck apresenta um grande potencial de aplicação na educação científica, por favorecer reflexões críticas sobre a construção do conhecimento. Nesse sentido, a QV, por meio de suas diferentes racionalidades e fundamentos epistemológicos, tem buscado transformar o pensamento químico, indo além da simples aplicação de seus princípios e incentivando a formação de uma postura mais crítica por parte dos estudantes.

Outros autores, como Marcelino (2020, p. 9), ao analisar trabalhos que enfatizam uma visão racional da QV, destacam a existência de diferentes formas de abordagem. O autor identifica duas principais racionalidades: a prática, que se subdivide em dimensões política, ética e técnica, caracterizando-se por uma postura mais crítica e reflexiva; e a racionalidade instrumental, considerada a mais comum nas publicações, com um enfoque mais técnico e um baixo nível de criticidade. Marcelino (2020) conclui, em seus resultados, que a racionalidade instrumental predomina nos trabalhos que tratam da QV.

Analisar a abordagem da QV de forma racional, é entender como essa inserção vem acontecendo, se é de forma mais crítica ou instrumental, o que pode trazer respostas sobre as lacunas que ainda precisam ser entendidas e fechadas sobre o EQV.

Ainda de acordo com as ideias de Marcelino (2020, p. 172):

A partir do exposto, corroboramos nossa hipótese de que há elementos de racionalidade instrumental nas práticas e discursos da QV, mas que também há possibilidades de superação dessa racionalidade no desenvolvimento de uma racionalidade crítica por meio da educação científica e tecnológica, para fazer evoluir toda a Química para uma ciência engajada na salvaguarda do ambiente.

Das categorias dos trabalhos identificados, a categoria C3 é a menos representada, o que demonstra que ainda existem poucos estudos de cunho epistemológico no tocante à QV no Brasil. Esse dado reforça a relevância de aprofundar os conhecimentos relacionados à temática, que vem buscando construir novas racionalidades para a Química, superando a visão de que ela se restringe a uma filosofia que aborda apenas conceitos e técnicas. Por outro lado, vale destacar que essa categoria não aparecia em estudos anteriores, como o de Roloff (2016), o que pode representar um avanço ou uma tendência promissora: a de que a comunidade de EQV no Brasil começa a refletir criticamente, questionar e difundir os paradigmas que orientam o ensino de QV.

C4 - Revisão de Literatura sobre o Ensino de QV

A quarta e última categoria, intitulada Revisão de Literatura sobre o Ensino de QV, é composta pelos trabalhos D6, T1, T3 e T5. Alguns desses trabalhos não são exclusivamente revisões, mas foram considerados por apresentarem uma revisão estruturada e detalhada, trazendo elementos relevantes para a pesquisa. Na pesquisa D6, foi realizado um estudo bibliográfico sobre o histórico da QV no Brasil, com o objetivo de identificar a emergência desse estilo de pensamento. A pesquisa analisou os periódicos nacionais publicados na revista QN, com recorte temporal de 2000 a 2017.

(D6, OG, p.19, grifo próprio) *O objetivo geral consiste em investigar o estado do conhecimento sobre a emergência do Estilo de Pensamento QV no Brasil, a partir dos artigos publicados no periódico nacional Química Nova (QN), tendo por base o referencial Ludwik Fleck.*

Na pesquisa T1, foram analisados 336 artigos, com recorte temporal de 1995 a 2014, para realizar um levantamento dos conteúdos abordados nos cursos de Química da UFSCar.

(T1, OE1, p.3, grifo próprio) *Sistematizar referências dos temas de interesse, como o movimento da QV, materiais didáticos experimentais e de formação de profissionais da área de química.*

O trabalho T3 realizou uma Revisão de Literatura baseada em T e D, com o objetivo de investigar as interlocuções teóricas relacionadas à QV e suas práticas, além de analisar como esses elementos contribuem para o EQV. O excerto que melhor explica a T3 foi retirado de seu OE:

(T3, OE3, p.36, grifo próprio) *Caracterizar e discutir eventuais propostas sobre o ensino da QV em T&D nas áreas de Química, Educação e Educação Científica, analisando se essas propostas podem contribuir à Formação de Professores de Química.*

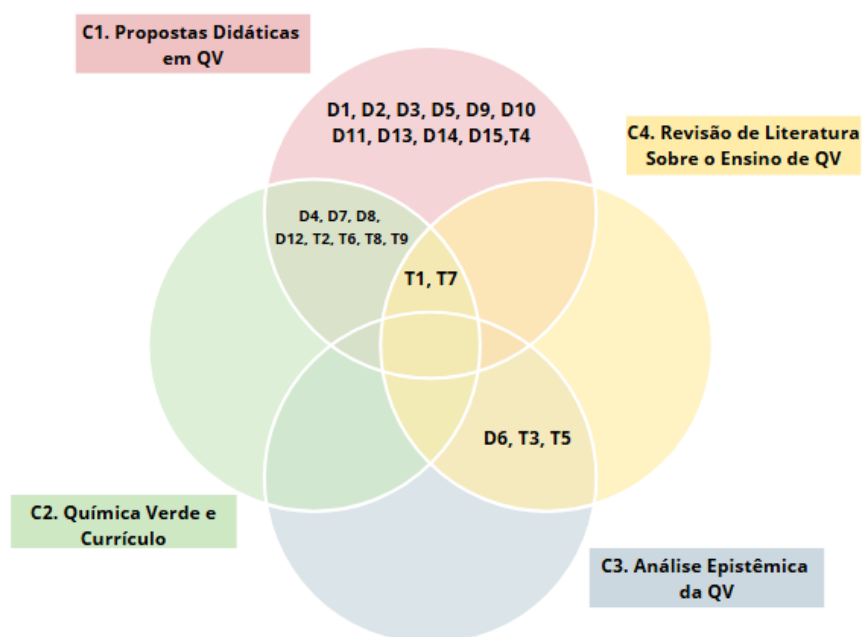
Na pesquisa T5, foi identificado em publicações e trabalhos advindos de químicos verdes quais são os tipos de racionalidade que circundam a QV e seu ensino, como essas produções e mudança de racionalidade podem auxiliar no enfrentamento de problemas ambientais e de quais formas o estudo pode alavancar a presença da QV no Ensino de Química:

(T5, OG, p.30, grifo próprio) *Discutir os tipos de racionalidade presentes em produções de químicos verdes, tendo em vista seu papel na produção e no enfrentamento dos problemas ambientais e sua importância no ensino de Química.*

A análise dos trabalhos que compõem a C4 evidenciou a importância das revisões de literatura para a consolidação da EQV como campo de investigação no ensino de Química. Mesmo que alguns dos estudos não tenham sido concebidos exclusivamente como revisões, eles trouxeram contribuições significativas ao realizar levantamentos estruturados, análises históricas e discussões teóricas sobre a inserção da EQV na formação docente e nas práticas educacionais. Essas produções permitem uma visão ampliada do percurso histórico da temática no Brasil, das racionalidades presentes nas abordagens e das principais lacunas existentes na área, servindo de base para orientar futuras pesquisas e intervenções educativas.

Após a análise das quatro categorias, foi possível identificar que os elementos coletados durante o processo de ATD subsidiaram a classificação de cada trabalho nas categorias correspondentes. Na Figura 4.4 é possível observar em quais categorias cada trabalho se encaixa, lembrando que um mesmo trabalho pode conter elementos de diferentes categorias.

Figura 4.4 - Distribuição dos trabalhos selecionados em suas respectivas categorias.



Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

Na Figura 4.4, verifica-se que a maior concentração de trabalhos exclusivos em uma única categoria ficou na C1, totalizando 11 dos 24 trabalhos selecionados. Um trabalho ficou exclusivamente na C2. Entre os trabalhos que atendem mais de uma categoria observa-se 7 trabalhos possuem elementos tanto da C1 quanto da C2, 3 trabalhos possuem elementos da C3 e da C4, e dois trabalhos possuem elementos que intercalam entre a C1, C2 e C4. Os trabalhos inteiramente alocados em C1 serão discutidos em mais detalhes, na próxima seção.

4.3 ANÁLISE DAS PROPOSTAS DIDÁTICAS

Neste tópico, foram analisados os trabalhos que se caracterizam como uma proposta didática, e para essa análise foi levado em consideração os modelos propostos por Sandri e Santin Filho (2019). É importante ressaltar que a ATD também foi fundamental neste tópico, pois auxiliaram com excertos que fortalecem os descritores no qual as propostas estão dispostas.

Para Camillo *et al.* (2023), a proposta didática pode ser definida como um plano de ação, sendo uma atividade pedagógica organizada e que busca atingir os objetivos almejados pelo professor. Os autores ainda defendem que propostas didáticas bem elaboradas que abordam a interdisciplinaridade e a contextualização, promovem maior efetividade no

processo de ensino-aprendizagem, permitindo assim que o aluno realize a integração de conhecimentos do dia-a-dia (Camillo *et al.*, 2023).

Para a análise através dos modelos de Sandri e Santin Filho (2019), os quais foram apresentados anteriormente, foram levados em consideração todos os descritores presentes nas dimensões: i) Quanto à abordagem didática; ii) Quanto à postura do professor; iii) Quanto ao momento e a frequência da abordagem e iv) Quanto aos objetivos educacionais. A análise foi realizada com 11 trabalhos (D1, D2, D3, D5, D9, D10, D11, D13, D14, D15 e T4) que pertencem exclusivamente a categoria C1-Propostas Didáticas em QV, conforme apresentado na Figura 4.4. É válido ressaltar que um mesmo trabalho pode conter elementos que estejam em diferentes dimensões dos modelos. Foram retirados excertos dos trabalhos que auxiliam na comprovação de qual descritor o trabalho está presente.

Para melhor explanação, tomou-se por base cada um dos modelos (1 a 3) – que, conforme Sandri e Santin Filho (2019) e Silva Júnior (2024), podem ser nomeados como: Modelo 1: Técnico/Instrumental; Modelo 2: Interface; Modelo 3: Crítico, e alocou-se as propostas nos modelos predominantes. Isto corresponde dizer, que a proposta foi classificada dentro do modelo ao qual teve maior vinculações, não eliminando a possibilidade de conter elementos pontuais de outros modelos, como descreveremos a seguir.

Ressalta-se que os trechos foram retirados de diferentes partes dos trabalhos, como da Metodologia (M), Considerações Finais (CF), Resultados ou Resultados e Discussões (RD), Objetivos Específicos (OE), Introdução (IN) e Conclusão (CI), cujas siglas serão doravante usadas para indicar a localização dos excertos. É importante ressaltar que os números que aparecem ao lado dos OE é a ordem que ele está disposto no texto

É importante ressaltar que, apesar dos trabalhos possuírem elementos de diferentes modelos, como permite a ATD, foi levado em consideração o modelo no qual o trabalho atingiu a maior quantidade de descritores, mostrando assim um modelo prevalecente, o que pode ser analisado nos Quadros 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11 a seguir.

Quadro 4.8 - Distribuição dos trabalhos Quanto à abordagem Didática

T	Descritores - Quanto à Abordagem Didática	D 1	D 2	D 3	D 5	D 9	D 10	D 11	D 13	D 14	D 15	T 4
M o d e l o 1	a) Adota princípios da QV na elaboração e aplicação de aulas experimentais;	x		x	x		x		x	x	x	
	b) Valoriza principalmente os princípios de redução de reagentes, gasto energético e gestão de resíduos, sem, contudo, avaliar sistematicamente a verduza química do experimento;			x			x					
	c) Preocupa-se em praticar uma Química segura.	x	x	x	x	x	x	x		x		x
	d) Preocupa-se com o gerenciamento de resíduos.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
M o d e l o 2	a) Adota princípios da QV na elaboração e aplicação de aulas experimentais e teóricas;			x	x	x	x	x	x	x	x	x
	b) Busca avaliar sistematicamente a verduza química dos experimentos por meio de métricas holísticas, a fim de realizar melhores escolhas e proporcionar melhorias que atendam aos princípios da QV;	x		x	x	x						
	c) Envolve os alunos na discussão e na escolha de produtos, processos ou procedimentos com maior verduza química;		x	x		x	x		x			x
	d) Insere a análise quantitativa da verduza dos processos através do cálculo de métricas de massa como a Eficiência Atômica (EA), por exemplo, tanto nas aulas experimentais quanto teóricas;			x	x					x		
	e) Instrui e incentiva os alunos a praticarem uma Química segura e o gerenciamento de resíduos;			x						x		
	f) Contextualiza o conteúdo através da abordagem de tecnologias e produtos considerados verdes;	x		x					x		x	
	g) Relaciona a QV ao Desenvolvimento Sustentável e/ou somente aos benefícios econômicos e ecológicos;						x	x				
	h) Promove a conscientização dos alunos em relação às boas práticas químicas e suas implicações sociais e ambientais;			x	x							

	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.		X									X
M o d e l o 3	a) Adota princípios da QV na elaboração e aplicação de aulas experimentais e teóricas;			X	X	X	X	X	X		X	X
	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;	X		X	X	X						
	c) Envolve os alunos na discussão e na escolha de produtos, processos ou procedimentos com maior verdura química;		X	X	X	X	X		X			
	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;			X	X					X		
	e) Fundamenta a prática da Química intrinsecamente segura, da prevenção e do gerenciamento de resíduos sobre o Princípio de Precaução e o Paradigma Ecológico;											
	f) Considera e aborda o contexto histórico do qual emergiu a QV, interrelacionando a outros movimentos de enfrentamento dos problemas socioambientais em face do desenvolvimento científico tecnológico;								X			
	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;								X		X	
	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;							X				

o 3	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;			x					x		x	
	d) Deve ter um pensamento sistêmico sobre os problemas socioambientais relacionados a Ciência e Tecnologia;										x	
	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.							x			x	
	Modelo Predominante	M 1	M 2	M 3	M 2	M 2	M 2	M 3	M 2	M 2	M 2	M 2

Quadro 4.10 - Trabalhos Quanto ao momento e a Frequência da Abordagem

T	Descritores	D 1	D 2	D 3	D 5	D 9	D 10	D 11	D 13	D 14	D 15	T 4
M od el o 1	a) Atrela a QV prioritariamente à experimentação;	x	x	x	x	x	x			x		x
	b) Realiza abordagens pontuais do tema QV, como em palestras, vídeos e minicursos, desvinculados dos conteúdos de aprendizagem.							x				
M od el o 2	a) A QV é abordada nas aulas teóricas e experimentais;			x	x	x	x	x	x	x	x	
	b) A abordagem da QV faz parte dos conteúdos de aprendizagem (conceituais e/ou procedimentais).			x	x	x		x	x	x	x	
M od el o 3	a) A QV é abordada nas aulas teóricas e experimentais de forma transversal;			x				x				
	b) A abordagem da QV é vinculada os conteúdos de aprendizagem (conceitual, procedimental e atitudinal).			x	x				x		x	

Propostas do Modelo 1 - Técnico/Instrumental

Apesar da quantidade significativa de propostas didáticas analisadas, apenas uma delas foi predominantemente classificada no Modelo 1, correspondente à pesquisa D1. Essa classificação se justifica porque o foco central da proposta está na execução de atividades experimentais com ênfase na aplicação de procedimentos técnicos e operacionais, com menor exploração de reflexões críticas sobre a Ciência ou seu contexto social. No entanto, é importante destacar que o trabalho também apresenta elementos pontuais associados aos Modelos 2 e 3, especialmente no que diz respeito à preocupação em avaliar sistematicamente a "verdura química" dos experimentos por meio de métricas holísticas, buscando melhorias alinhadas aos princípios da QV.

Em relação ao modelo quanto ao momento e à frequência da abordagem, apresentou elementos de apenas um descritor: i) Atrela a QV prioritariamente à experimentação. No modelo referente aos Objetivos Educacionais, o trabalho apresentou elementos dos descritores: i) Praticar a QV e ii) Divulgar ou informar sobre a QV, ambos pertencentes ao modelo 1. O excerto abaixo traz alguns elementos importantes que auxiliaram na marcação dos descritores.

(D1, MM, p. 31, grifo próprio) *Realizou-se também dois experimentos em microescala: a síntese da acetanilida e da dibenzalacetona, mostrando que os produtos são obtidos mesmo reduzindo as quantidades de reagentes utilizados.*

Acerca da postura do professor, no trabalho D1, foi possível identificar elementos do modelo 2, especialmente no que se refere à conscientização dos alunos e à abordagem dos princípios da QV, tanto nas aulas teóricas quanto nas experimentais. O excerto abaixo demonstra a abordagem teórica e experimental, durante o processo de execução da proposta didática.

(D1, R, p. 4, grifo próprio) para o experimento de determinação do grupo do cobre (chumbo, cádmio, cobre, mercúrio e bismuto) *foi proposta uma metodologia alternativa, esse grupo foi trabalhado de forma teórica, onde os alunos acompanham todas as etapas do experimento por fotos passo-a-passo do experimento, os demais roteiros que não envolvem metais de difícil descarte (como, por exemplo, cálcio, potássio, magnésio, ferro, entre outros) são executados normalmente.*

No modelo quanto à abordagem didática, o trabalho alcançou o modelo 2 e 3 com o descritor: i) 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. Isso demonstra que a pesquisa não ficou restrita apenas à prática experimental, mas preocupou-se em avaliar de alguma forma a eficiência do experimento proposto, como mostrado no excerto abaixo.

(D1, RD, p. 37, grifo próprio) *sugeriu-se também a aplicação do cálculo de Eficiência Atômica para o experimento de nitração da acetanilida e que pode ser aplicado aos demais experimentos.*

A seguir serão apresentadas as propostas que prevalecem no Modelo 2.

Propostas do Modelo 2 - Interface

O Modelo 2 concentrou o maior número de propostas didáticas entre os trabalhos analisados, totalizando nove. Nessa categoria, foram alocadas as propostas presentes nos documentos D2, D3, D5, D9, D10, D11, D13, D14 e D15.

O trabalho D2 apresentou aderência predominante ao Modelo 2 em praticamente todas as dimensões analisadas (como abordagem didática, postura do professor, entre outras). No que se refere à dimensão abordagem didática, o trabalho contemplou elementos constituintes tanto do Modelo 2 quanto do Modelo 3, como, por exemplo, o descritor: "Envolve os alunos na discussão e na escolha de produtos, processos ou procedimentos com maior veracidade química." O excerto abaixo justifica a atribuição dos modelos mencionados às respectivas dimensões analisadas.

(D2, M, p. 66, grifo próprio) *Os licenciandos, divididos em duas turmas, realizaram um debate após a leitura do artigo a respeito de questões relacionadas aos aspectos de convergência ou divergência em relação aos artigos e textos trabalhados até então na disciplina e como esses textos poderiam influenciar nas propostas de práticas experimentais que deveriam ser elaboradas pelos licenciandos posteriormente.*

Quanto à postura do professor e os objetivos educacionais, o trabalho D2, também alcançou o modelo 2. Já em relação ao momento e a frequência da abordagem o trabalho ficou restrito ao modelo 1, sendo a experimentação o foco principal de desenvolvimento do trabalho.

(D2, OE, p. 22, grifo próprio) *Tanto nas disciplinas quanto no ambiente virtual foi dada especial atenção aos temas relacionados à experimentação, com ênfase à sustentabilidade socioambiental e Química Verde.*

O trabalho D5 apresentou descritores de todos os modelos de abordagem da QV, evidenciando ser uma intervenção didática bastante elaborada. Embora contenha elementos

relacionados aos Modelos 1 e 3, sua predominância está no Modelo 2. É importante ressaltar que esse tipo de atividade demonstra um grande preparo por parte do(a) professor(a) responsável, que buscou criar um ambiente de constante diálogo e participação ativa dos estudantes. Os excertos abaixo mostram que a proposta foi bem elaborada quanto à abordagem didática, quanto à postura do professor, quanto ao momento e a frequência da abordagem e quanto aos objetivos educacionais. Os excertos estão dispostos na ordem dos modelos de abordagem da QV.

(D5, M, p. 61, grifo próprio) *Durante o preparo das soluções, os alunos realizaram todos os cálculos necessários para determinação das massas dos solutos envolvidos, concentrações, entre outros. No próprio roteiro foi destinado um espaço para informarem todos os resultados desses dados.*

(D5, M, p. 57, grifo próprio) *foi ministrado um seminário aos alunos, sobre os conceitos e aplicações da QV, seus princípios, problemáticas ambientais, com o intuito de fornecer esclarecimentos gerais sobre a temática. Esse momento propiciou realização de um debate com os alunos, relativo ao conteúdo abordado, onde os mesmos fizeram alguns questionamentos e esclarecimentos de dúvidas sobre a QV.*

(D5, CF, p. 129, grifo próprio) *Desse modo, se percebe que a QV nas atividades experimentais, dentro do enfoque CTS, favoreceu a aprendizagem não somente de conteúdos conceituais e procedimentais, mas também atitudinais.*

(D5, RD, p. 101, grifo próprio) *O fato de terem preparado um indicador natural e utilizá-lo em uma mesma análise onde comumente se usa indicadores químicos convencionais, parece ter despertado interesse, pois foi um conhecimento novo aos mesmos, e ainda reforçou a possibilidade real de aplicação da QV. Assim, nota-se a relevância de se utilizar o enfoque CTS nas atividades experimentais.*

O trabalho D9, embora tenha sido desenvolvido com ênfase na experimentação, não se limita apenas à realização das práticas, mas as contextualiza, promovendo uma análise crítica dos processos envolvidos. Sua classificação ficou centrada no Modelo 2, pois apresenta descritores relacionados aos objetivos educacionais, ao momento e frequência da abordagem e à postura do professor, conforme os parâmetros definidos por Sandri e Santin Filho (2019). O excerto abaixo ilustra essa superação de uma abordagem puramente técnica, evidenciando tanto o envolvimento crítico com a experimentação quanto a participação ativa dos estudantes.

(D9, RD, p. 53, grifo próprio) *Os alunos realizaram essa atividade com bastante autonomia, mínima intervenção da pesquisadora e do professor. A análise da atividade nos oferece um panorama inicial dos posicionamentos dos estudantes no que diz respeito à relação entre os princípios e o experimento.*

Já na abordagem didática, o trabalho alcançou descritores do modelo 3, ao envolver os alunos nas discussões e utilizar métricas para a análise da verdura química dos experimentos realizados.

(D9, M, p. 44, grifo próprio) *A **construção das EV e utilização para análise da atividade experimental**, nesta pesquisa, contribuiu para planejar as atividades da SD no sentido de nos ajudar a redigir as etapas para construção da EV pelos alunos.*

A pesquisa D10 foi classificada no modelo 2, pois a maioria dos descritores identificados corresponde às características dessa abordagem. Embora a experimentação seja um elemento bastante presente, o trabalho apresenta uma análise mais crítica sobre o papel da atividade experimental no processo de inserção da QV no Ensino de Química, indo além da simples execução de procedimentos.

Referente ao momento e frequência da abordagem a pesquisa alcança o modelo 2 ao abordar a QV tanto nas aulas teóricas quanto nas experimentais, modelo também alcançado quanto aos objetivos educacionais, ao possui elementos dos descritores: i) Melhorar a percepção social da Química por meio da QV e ii) Inserir a QV no Ensino de Química. O excerto abaixo ilustra esse desprendimento apenas da realização experimental, mas também a participação ativa dos estudantes.

(D10, R, p. 7, grifo próprio) *Para o 3º ano, o tema abordado em Química Orgânica foi biocombustíveis. O experimento trabalhado foi o da obtenção de biodiesel a partir de óleo de cozinha usado e álcool etílico. **Após realização dos experimentos, os alunos escreveram sobre a importância da Química Verde e o desenvolvimento sustentável.***

Quanto à postura do professor e à abordagem didática, a pesquisa alcançou alguns descritores que fazem parte do modelo 3. E, em ambos, foram descritores relacionados à possibilidade de participação dos estudantes e abertura para participação por parte do professor.

(D10, RD, p. 56, grifo próprio) *Com a realização do experimento, foi possível aos alunos identificarem o uso de substâncias biocompatíveis e renováveis, solventes mais seguros (CO₂ líquido), produção de substâncias que se degradem no ambiente e o **desenvolvimento de um processo mais sustentável do que no experimento tradicional, como a extração do limoneno por meio de solventes orgânicos altamente poluentes ao meio ambiente.***

A pesquisa D11 apresentou descritores associados ao Modelo 3 em diversas dimensões analisadas. No entanto, nas categorias relacionadas à abordagem didática e à postura do professor, foram observadas sobreposições de descritores entre os Modelos 2 e 3, o que levou à classificação final da proposta como predominante no Modelo 2. Além disso, a análise dos objetivos educacionais não revelou nenhum elemento característico do Modelo 3. É importante destacar que houve uma abordagem bastante aprofundada da QV por parte do(a) docente, o que contribuiu para uma contextualização relevante da temática e permitiu

discussões mais críticas durante a aplicação da atividade. Ainda assim, a conclusão do trabalho evidencia algumas lacunas, com objetivos que poderiam ter sido melhor definidos e avaliados, o que teria possibilitado um enquadramento mais consistente no Modelo 3. O excerto a seguir reforça essa avaliação.

(D11, Cl, p. 87, grifo próprio) *Os objetivos desse recurso como a preocupação ambiental e divulgação científica para um público jovem, incorporando ideias presentes na Química Verde como mineração urbana que reaproveita o que é desperdiçado, evita poluição e é capaz de promover consciência coletiva, poderia ter sido melhor avaliado. Esta é uma proposta para futuras análises: como inferir se a divulgação científica e as ideias da Química Verde pretendidas foram, de fato, apropriadas pelos alunos.*

A pesquisa D13 é predominantemente classificada no modelo 2. No que diz respeito à abordagem didática, ela se enquadra no modelo 3, pois apresenta descritores como: i) considerar e abordar o contexto histórico no qual a Química Verde emergiu, relacionando-a a outros movimentos que enfrentam problemas socioambientais frente ao desenvolvimento científico e tecnológico; e ii) abordar a Química Verde de forma transversal aos conteúdos de aprendizagem e disciplinas do currículo, numa perspectiva contextualizada que contempla as relações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA), bem como os aspectos éticos, econômicos, políticos e culturais. Além disso, observa-se na pesquisa uma sólida base de conteúdos sobre a Química Verde por parte do docente, assim como o desenvolvimento prático da temática pelos estudantes. Os excertos a seguir reforçam esses pontos.

(D13, M, p. 58, grifo próprio) *Desenvolver prática da **construção do protótipo do biodigestor** com os estudantes como aplicação dos conceitos da QV já apresentados.*

(D13, RD, p. 74, grifo próprio) *Relacionando essa primeira etapa da análise com a aprendizagem significativa, as evidências nos mostraram indícios da **ampliação do subsunçor do conceito Química Verde na tipologia dos conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais** juntamente com os mapas conceituais desenvolvidos.*

O trabalho D14 foi classificado predominantemente no modelo 2 em todas as dimensões da abordagem da QV. Utilizando a experimentação como recurso, o estudo trouxe uma perspectiva mais contextualizada para o Ensino de Química. Nas dimensões relacionadas à postura do professor e ao momento e frequência da abordagem, o trabalho alcançou todos os descritores previstos para o modelo 2, demonstrando a intenção do docente em envolver os estudantes numa abordagem crítica e integrada da Química Verde. Essa ideia pode ser confirmada pelo excerto a seguir.

(D14, M, p. 41, grifo próprio) *No estudo de caso desta pesquisa partiu-se de uma situação de contexto de sala de aula com a formulação dos fatos e hipóteses, bem como a explicação das variáveis causais acerca da **aplicação dos conhecimentos***

sobre preparo de amostras com ácido nítrico diluído, a partir da abordagem da química verde no ensino de química.

No que diz respeito à abordagem didática, o modelo 3 foi alcançado, ao ser inserida uma análise quantitativa da veracidade dos procedimentos experimentais. Em relação aos objetivos educacionais o trabalho também alcançou o modelo 3, no descritor: i) Estimular a prática consciente, intencional e crítica da QV. Os excertos podem ser analisados a seguir.

(D14, R, p. 18, grifo próprio) *Os resultados educacionais confirmaram que a abordagem de Química Verde com a temática do uso do ácido nítrico diluído, por meio da ABP, possibilitou ao aluno integrar novos conhecimentos, de forma crítica, criativa e colaborativa.*

(D14, M, p. 40, grifo próprio) *No caso deste trabalho, as informações geradas, inicialmente, se deram por meio do enfoque quantitativo com a verificação da eficiência do ácido nítrico diluído no preparo de amostras.*

Na pesquisa D15, que também ficou no modelo 2, é possível identificar uma proposta didática bem elaborada e bastante fundamentada em uma abordagem CTSA, mostrando que houve bastante divulgação sobre a QV, mas que a proposta foi de bastante participação e interação por parte dos estudantes, o que pode ser analisado no excerto abaixo, sendo possível analisar que houve problematização e estímulo a uma participação ativa.

(D15, RD, p. 54, grifo próprio) *A problematização foi construída leitura e interpretação do texto Impactos Ambientais, a interpretação da Charge: Chuva Ácida, e o vídeo Princípios e ações de Química Verde. Na organização do conhecimento, foi trabalhado um texto e reportagem sobre o Arroio Guaíba e produzido um texto com aula expositiva dialogada, com slides sobre o assunto Eletroquímica. Para fechamento da unidade e Aplicação do conhecimento, foi sugerida a confecção de um Mapa Mental, abordando os temas, Química Verde, Corrosão e Eletroquímica.*

A pesquisa T4 foi classificada predominantemente no modelo 2, embora apresente fortes características do modelo 1, especialmente nos objetivos educacionais e no momento e frequência da abordagem. O trabalho concentrou-se no desenvolvimento de atividades experimentais e na divulgação dos princípios da Química Verde e, apesar de incluir algumas discussões sobre sustentabilidade socioambiental, a ênfase principal permaneceu na experimentação.

(T4, OE, p. 10, grifo próprio) *Para tanto foram realizadas diversas inserções em sala de aula com base nos textos utilizados no decorrer da disciplina, que versavam principalmente sobre temas relacionados ao papel da experimentação para a educação científica e formação de professores, com ênfase à sustentabilidade socioambiental e Química Verde.*

Quanto à abordagem didática o trabalho T4, alcançou elementos do modelo 2 e 3 com o descritor: i) Adota princípios da QV na elaboração e aplicação de aulas experimentais e

teóricas. Esse descritor faz parte tanto do modelo 2 quanto do modelo 3, o qual pode ser analisado no excerto abaixo.

(T4, RD, p. 92, grifo próprio) *Para chamar atenção para aspectos específicos da aula, texto, animação ou vídeo utilizado, ou seja, nesse caso a atividade remete a determinados trechos do material estudado, como, por exemplo, os princípios da Química Verde.*

Em relação a postura do professor a pesquisa T4, alcança o modelo 2, ao estimular a pesquisa e a comunicação dos saberes dos alunos e torná-los mais conscientes das práticas da QV. Os excertos abaixo, mostram a participação ativa dos acadêmicos no desenvolvimento da pesquisa.

(T4, M, p. 79, grifo próprio) *Posteriormente os licenciandos entregaram os roteiros e apresentaram suas propostas em seminários, o que se mostrou muito frutífero visto que muitas sugestões foram incorporadas aos experimentos por conta da intervenção de todos os participantes.*

(T4, RD, p. 95, grifo próprio) *Cada aluno irá pesquisar e trazer na próxima aula as principais ideias de um texto escolhido pelo próprio aluno. O tema para busca dos textos será: Química Verde na Experimentação.*

Esse Modelo possui muito mais propostas didáticas se comparado com o anterior, o que mostra um certo esforço da acadêmica em abordar trabalhos cada vez mais contextualizados em relação ao EQV. A seguir serão apresentadas as propostas que prevalecem no Modelo 3

Propostas do Modelo 3 - Crítico

Entre as 11 propostas didáticas que foram analisadas, apenas uma proposta ficou predominantemente no Modelo 3, que foi a D3. Em relação à abordagem didática, consegue trazer elementos essenciais como a abordagem dos princípios em relação às aulas teóricas e experimentais, bem como a participação dos estudantes e a análise do grau de verdura química dos procedimentos. Quanto à postura do professor, o trabalho também se destaca com descritores do modelo 3, principalmente no que diz respeito à abordagem interdisciplinar com o descritor: i) Assume uma abordagem interdisciplinar e está familiarizado com a dimensão crítica da QV e da Educação Ambiental. Em relação ao momento e a frequência da abordagem, o trabalho também se destaca por ter elementos dos dois descritores. O excerto abaixo, reforça a presença da D3 no modelo 3.

(D3, RD, p. 61, grifo próprio) *Os estudantes relacionam fortemente a prática da Química às questões ambientais e indicam que a experiência possibilitou*

ressignificar os conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais à práxis educacional que se exige na atualidade, no caso a Educação em Química.

Em relação aos objetivos educacionais, a D3 mostra-se ter ficado no modelo 2, não sendo evidenciados descritores que fazem parte do modelo 3, o que não faz com que o trabalho faça parte do modelo 2 como um todo, pois possui inúmeros descritores do modelo 3.

O Quadro 4.8 apresentado abaixo, resume como ficaram distribuídos os trabalhos nos modelos de 1 a 3. Utilizou-se a mesma categorização da ATD, ou seja, a primeira dissertação ficou como D1 e a segunda como D2, e assim por diante. Os descritores utilizados são fidedignos aos abordados por Sandri e Santin Filho (2019), a fim de identificar em quais categorias e modelos os trabalhos se encontram.

Quadro 4.12 - Distribuição dos trabalhos nos modelos de abordagem da QV

Modelo	Distribuição dos Trabalhos
Modelo 1	D1
Modelo 2	D2, D3, D5, D9, D10, D11, D13, D14 e D15
Modelo 3	D3

Fonte: Dados da Pesquisa (2024).

No Quadro 4.8, é possível identificar que a maioria dos trabalhos analisados permaneceu no modelo 2.

Em comparação com estudos anteriores que também analisaram propostas didáticas a partir dos modelos de abordagem da QV, a presente pesquisa apresenta um avanço modesto. Enquanto Sandri e Santin Filho (2019) identificaram uma predominância de propostas alinhadas ao Modelo 1 (vertente técnica), com apenas uma proposta contendo elementos dos Modelos 2 e 3, os dados desta pesquisa revelam que a maioria das propostas analisadas se concentra no Modelo 2. Ainda assim, apenas uma proposta apresentou elementos articulados dos Modelos 2 e 3, o que indica que a transição para abordagens mais críticas permanece tímida. Esses dados sugerem que, embora haja uma tendência de deslocamento para modelos mais elaborados, ainda há um longo caminho a ser percorrido no que se refere ao fortalecimento da criticidade no EQV.

Outro estudo relevante é o de Bouzon (2022), desenvolvido durante seu doutorado. Nele, foi estruturada uma disciplina de formação continuada para professores de Química no contexto de um curso de especialização *lato sensu*, com o objetivo de apresentar os fundamentos da QV articulados ao ensino básico, por meio da abordagem CTS. Ao final da disciplina, os cursistas elaboraram sequências didáticas que deveriam, obrigatoriamente, se fundamentar em uma abordagem CTS e contemplar algum conceito da QV. A análise das

propostas, com base no tetraedro adaptado de Sjöström, revelou diferentes níveis de profundidade: em um único ano da disciplina, um grupo permaneceu no nível técnico, três alcançaram uma perspectiva crítico-reflexiva, e os demais se posicionaram em um nível intermediário, relacionado à sócio-química verde, que busca relacionar o ensino da Química com a sustentabilidade e o contexto social, ainda que sem aprofundamento crítico.

Apesar de serem estudos desenvolvidos em contextos distintos, o de Sandri e Santin Filho (2019), na graduação, o de Bouzon (2022), na especialização *lato sensu* e o presente trabalho em pesquisas de nível *stricto sensu*, todos eles aplicam os modelos de abordagem da QV como lente analítica e revelam um ponto em comum: a dificuldade recorrente de alcançar os modelos mais críticos e elaborados. Isso reforça a constatação de que ainda há um percurso a ser trilhado na formação de professores para que desenvolvam uma postura mais reflexiva e crítica em relação à abordagem da QV no Ensino de Química.

O nível intermediário identificado, correspondente à socioquímica verde, pode ser relacionado ao Modelo 2 de abordagem, o qual concentrou a maior quantidade de trabalhos analisados na presente pesquisa. Tal predominância indica que as propostas desenvolvidas em relação a QV no EQV já não se restringem a uma perspectiva estritamente técnica da QV, evidenciando, portanto, uma tendência de transição em direção a abordagens mais críticas e reflexivas. Esse movimento representa um avanço significativo no contexto da QV no cenário nacional, sinalizando um amadurecimento nas práticas pedagógicas e uma maior preocupação em integrar aspectos sociais, ambientais e éticos ao Ensino de Química.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O EQV ainda encontra muitos desafios, especialmente diante da representatividade da QV nos currículos e, conseqüentemente, na formação de professores (Vaz, 2024) e, devido ao modelo educacional tradicional ainda dominante, que dificulta a inserção de novos temas e, frequentemente, limita o desenvolvimento crítico dos estudantes. No entanto, esta pesquisa se soma a outras que vem indicando um aumento significativo na produção acadêmica relacionada ao tema (Marcelino, Marques, 2023; Marques *et al.*, 2023) e evidencia explicitamente o número crescente de trabalhos em nível de *stricto sensu* dedicados à temática da QV.

A investigação sobre como a QV tem sido tratada nas pesquisas desenvolvidas em nível *stricto sensu* no Brasil possibilitou a construção de um panorama representativo da produção acadêmica voltada ao tema, destacando aspectos como a concentração geográfica dos trabalhos, os principais grupos de pesquisa envolvidos e as lacunas ainda existentes na área. A análise das propostas didáticas, sob a ótica dos modelos de abordagem da QV, permitiu identificar diferentes níveis de aprofundamento e intencionalidades pedagógicas, evidenciando um movimento gradual de incorporação de práticas mais críticas e contextualizadas no Ensino de Química.

Ao comparar os dados obtidos nesta pesquisa com os apresentados por Roloff (2016), nota-se um crescimento expressivo no número de trabalhos que abordam o EQV em nível *stricto sensu*. Enquanto Roloff (2016), identificou apenas 14 trabalhos relacionados explicitamente ao EQV no período de 2002 a 2014, o presente estudo encontrou 24 produções no intervalo entre 2012 e 2024. Esse aumento quantitativo evidencia não apenas um avanço no interesse da comunidade acadêmica pela temática, mas também aponta para a consolidação gradual do EQV como objeto de investigação. Apesar disso, os dados ainda revelam desafios a serem superados, como a ampliação da criticidade nas abordagens didáticas e a diversificação dos modelos utilizados nas propostas de ensino. Esse cenário reforça a importância de estudos que contribuam para o fortalecimento de uma prática pedagógica mais crítica, sustentável e socialmente comprometida no ensino de Química.

Verificou-se que a maior parte das produções identificadas corresponde a dissertações de mestrado, com maior concentração nos anos de 2018 e 2022. Em termos geográficos, a Região Sul se destacou com o maior número de publicações, enquanto a Região Nordeste não apresentou nenhum trabalho que atendesse aos critérios estabelecidos nesta pesquisa. Essa disparidade evidencia uma distribuição desigual das investigações sobre EQV no Brasil,

apontando para uma concentração regional que pode limitar o alcance e o impacto nacional da temática.

Além disso, observa-se que a produção acadêmica está fortemente vinculada a poucos grupos de pesquisa e a docentes específicos que possuem suas pesquisas vinculadas a QV, como ocorre nas universidades UFSCar e UFSC, que se destacaram no número de publicações. Isso sugere que, embora haja iniciativas relevantes, ainda há uma carência de linhas de pesquisa consolidadas e contínuas em EQV nos programas de pós-graduação em ensino de Ciências e Química. Essa concentração gera um cenário de descontinuidade: a presença da temática nos programas tende a ser pontual, associada a orientadores específicos, e não uma prioridade institucional e curricular dos programas. Tal situação dificulta a consolidação do EQV como um campo de pesquisa mais robusto, contribuindo para que ele permaneça disperso, com poucos avanços sistemáticos e de longo prazo.

No tocante à análise das propostas didáticas levantadas sob a ótica dos modelos de abordagem da QV, revelou tendências importantes no campo do EQV em programas *stricto sensu* no Brasil. A predominância de propostas didáticas voltadas à experimentação indica que essa abordagem ainda é um caminho privilegiado para tratar da temática em sala de aula. No entanto, observa-se um avanço significativo: essas propostas têm buscado cada vez mais integrar questões ambientais e sociais, demonstrando um movimento em direção a uma abordagem mais crítica e contextualizada da QV. Ao aplicar os modelos de abordagem de Sandri e Santin Filho (2019), foi possível perceber que a maioria das propostas se encontra no Modelo 2, o que sinaliza um esforço por parte dos autores em superar o caráter técnico e instrumental da QV, ainda que o Modelo 3, de cunho mais crítico-reflexivo, seja pouco alcançado.

Outra tendência que merece destaque diz respeito ao surgimento de reflexões de cunho epistemológico, reunidas na categoria de trabalhos voltados à análise epistêmica da QV. Embora essa categoria tenha sido a menos representativa em número, sua própria existência já indica uma ampliação do escopo das pesquisas sobre EQV. Esse movimento revela que a comunidade acadêmica tem começado a se debruçar sobre os paradigmas que fundamentam o ensino de Química, o que pode favorecer a construção de novas racionalidades para a área, mais alinhadas com os princípios da sustentabilidade e da criticidade.

Quanto à avaliação das propostas didáticas, a categorização segundo os modelos de Sandri e Santin Filho (2019) revelou uma predominância do Modelo 2. Esse resultado indica um avanço em relação ao estudo original dos autores, no qual a maioria das propostas se concentrava no Modelo 1. O Modelo 2 caracteriza-se por uma abordagem integrada entre

teoria e prática, articulando os princípios da QV aos conteúdos curriculares e promovendo maior conscientização ambiental entre os estudantes. Ainda que apenas uma proposta tenha se destacado pelo predomínio de descritores do Modelo 3, o mais crítico e abrangente, os dados indicam um movimento de transição em curso, rumo a práticas pedagógicas mais reflexivas e contextualizadas.

Apesar dos avanços, persistem desafios significativos quanto à efetiva inserção da QV no Ensino de Química. A abordagem da QV ainda é majoritariamente pontual, concentrando-se em propostas isoladas, o que demanda esforços para torná-la uma diretriz transversal e estruturante no Ensino de Química. Para isso, é necessário fomentar políticas institucionais e curriculares que promovam a formação crítica dos professores, bem como a valorização de metodologias que integrem os aspectos científicos, ambientais, sociais e éticos da Química.

Diante ao contexto apresentado, a presente pesquisa alcançou o objetivo delineado e, dessa forma, esta dissertação contribui para o fortalecimento do campo da Educação em QV no Brasil, ao fornecer um panorama detalhado das pesquisas existentes e apresentar recomendações para a ampliação e qualificação das abordagens didáticas. O avanço da QV no Ensino de Química dependerá, sobretudo, do comprometimento coletivo da comunidade acadêmica e educacional com a construção de práticas pedagógicas voltadas à sustentabilidade, à justiça socioambiental e à formação cidadã.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. **History of green chemistry**. Disponível em: <https://www.acs.org/greenchemistry/what-is-green-chemistry/history-of-green-chemistry.html>. Acesso em: 1 jun. 2024.
- ALMEIDA, Q. A. R.; ALVES, M. N.; COSTA, D. A. Química verde nos cursos de licenciatura em química do Brasil: mapeamento e importância na prática docente. **Revista de Educação em Ciências e Matemática da Amazônia**, v. 15, n. 34, p. 178-187, 2019.
- ANASTAS, P.; EGHBALI, N. **Green chemistry: principles and practices**. Chemical Society Reviews, 2010.
- ANASTAS, P. T.; KIRCHHOFF, M. M. **Origins, current status, and future challenges of green chemistry**. Accounts of Chemical Research, v. 35, n. 9, p. 686-694, 2002.
- ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green chemistry: theory and practice**. New York: Oxford University Press, 1998.
- ANDRADE, R. S. **A Prática Experimental Investigativa Crítica Verde na Licenciatura em Química de uma Universidade Federal do Estado de São Paulo: Um Estudo de Caso**. 2022. 196 f. Tese (Doutorado em Educação) - Programa de Pós Graduação em Educação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.
- ANDRADE, R. S.; ZUIN, V. G. A Experimentação na Educação em Química Verde: uma Análise de Propostas Didáticas Desenvolvidas por Licenciandos em Química de uma IES Federal Paulista. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S.l.], p 1–22, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/25960>. Acesso em: 15 jun. 2024.
- BARBIERI, J. C.; SILVA, D. DA. Desenvolvimento sustentável e educação ambiental: uma trajetória comum com muitos desafios. RAM. **Revista de Administração Mackenzie**, v. 12, n. 3, p. 51–82, jun. 2011.
- BOUZON, J. D. **Química verde por meio da abordagem CTS: a construção e aplicação de uma disciplina em um curso de formação de professores**. 2022. 285 f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2022.
- BRANDÃO, J.B; *et al.* Mapeamento de publicações sobre o ensino da química verde no Brasil a partir de redes sociais. **Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v. 15, p. 59-76, 2018.

BRANDÃO, J. B. **Ensino de química verde no ensino médio e técnico com enfoque na experimentação e abordagem CTS**. 2022. 207 f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2022.

BURMEISTER, M.; RAUCH, F.; EILKS, I. Education for sustainable development (ESD) and chemistry education. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 13, p. 59–68, 2012.

CARSON, R. **Primavera silenciosa**. São Paulo: Pórtico, 1969.

CAMILLO, C.M.; *et al.* Análise de Propostas Didáticas que Envolvem a Interdisciplinaridade e a Contextualização no Ensino de Ciências. **Editora Unijuí**, nº 120, 2023.

COSTA, M. C. S. **Abordagem dos Princípios da Química Verde por meio do lúdico na formação ambiental de profissionais da Química**. 2018. 133 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

DE ALMEIDA, B. L. **Rachel Carson (1907–1964): a defesa e o amor pela natureza**. [S.l.]: [s.n.], 2020.

DEL PINO, J. C; FRISON, M. D. Química: um conhecimento científico para a formação do cidadão. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**. v. 1, n. 1, 2011.

DE MENEZES, U. G.; *et al.* Gestão da inovação para o desenvolvimento sustentável: comportamento e reflexões sobre a indústria química. **RAI: Revista de Administração e Inovação**, v. 8, n. 4, p. 88–116, 2011.

DOURADO, S.; RIBEIRO, E. Metodologia qualitativa e quantitativa. **Metodologia de pesquisa em Educação e ensino de Ciências**. 2. ed. Ponta Grossa: Atena, p. 12-30, 2023.

FARIAS, L. A.; FÁVARO, D. I. T. Vinte anos de química verde: conquistas e desafios. **Química Nova**, v. 34, n. 6, p. 1089–1093, 2011..

FEDERIZZI, T. **Proposição de Sequência Didática para o tema Eletroquímica no Ensino Técnico Subsequente Abordando as Temáticas Química Verde, Sustentabilidade e Educação Ambiental**. 2023, 178 f. Dissertação (Mestre em Química) - Programa de Mestrado Profissional em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2023.

FERREIRA, V.F.; *et al.* Química Verde, Economia Sustentável e Qualidade de Vida. **Revista Virtual de Química**, v. 6, nº. 1, p. 85 - 111, 2014.

FLORES, A. V. *et al.*. Organoclorados: um problema de saúde pública. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, n. 2, p. 111–124, jul. 2004.

FOLHA DE S. PAULO. **Indústria química quer investir R\$ 15 bi rumo à economia verde**. Estúdio Folha, 2024. Disponível em: <https://estudio.folha.uol.com.br/abiquim/2024/04/industria-quimica-quer-investir-r-15-bi-rum-o-a-economia-verde.shtml>. Acesso em: 21 jan. 2025.

GALIAZZI, M. C. **Análise textual discursiva**. Ijuí: Editora Unijuí, 2020. E-book. ISBN 9786586074192. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786586074192/>. Acesso em: 26 maio 2024.

GALIAZZI, M. C.; SOUSA, R. S. **Análise textual discursiva: uma ampliação de horizontes**. Ijuí: Editora Unijuí, 2022

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 57–73, 2020.

GASPAR, C. S; *et al.* Ensino de química verde no Brasil: mapeamento de publicações a partir da análise de redes sociais. **Educación Química**, 2023.

GIL, A. C. **Como Fazer Pesquisa Qualitativa**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2021. E-book. ISBN 9786559770496. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559770496/>. Acesso em: 04 jul. 2024.

GOES, L. F.; LEAL, S. H.; CORIO, P.; FERNANDEZ, C. Aspectos do conhecimento pedagógico do conteúdo de química verde em professores universitários de química. **Educación Química**, v. 24, p. 113–123, mar. 2013.

GOES, L. F.; *et al.* Aspectos do conhecimento pedagógico do conteúdo de química verde em professores universitários de química. **Educación Química**, v. 24, p. 113-123, 2013.

GOMES, L.S; *et al.* Panorama da Inclusão dos Conceitos de Química Verde nas Licenciaturas em Química dos Institutos Federais. **Revista Ambiente e Educação**. v. 27, n. 01, 2022.

GURSKI, B; *et al.* Conferência de Estocolmo: um marco na questão ambiental. **Administração de Empresas em Revista**, v. 1, n. 7, p. 65-79, 2012.

HRYSYK, A. S. **Inserção da Química Verde em Atividades Experimentais de Graduação**. 2012. 87 f. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) - Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2012.

JAPIASSÚ, C.E; GUERRA, I.F. 30 anos do relatório Brundtland: nosso futuro comum e o desenvolvimento sustentável como diretriz constitucional brasileira. **Revista de Direito da Cidade**, v. 9, n. 4, p. 1884-1901, 2017.

JOHNSTONE, A. H. The Development of Chemistry Teaching: A Changing Response to Changing Demand. **J. Chem. Educ.** p. 701-705, 1993.

JOHNSTONE, A. H. You Can't Get There from Here. **J. Chem. Educ.** p. 22-29, 2010.

KOSTIANOVICZ, T. **A Inserção da Química Verde em Aulas de Química Orgânica no Ensino Superior - Um Pesquisa-Ação**. 2020. 205 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Curso de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

KRÜGER, E.L. Uma abordagem sistêmica da atual crise ambiental. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 4, 2001.

LENARDÃO, E. J.; et al. "Green chemistry": os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. *Química Nova*, v. 26, n. 1, p. 123–129, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000100020>. Acesso em: 04 jul. 2024.

MACHADO, A.A.S.C. O Desastre de Bhopal no Contexto da Química Verde a sua Causa última: um Retrocesso. FCUP - **Artigo em Revista Científica Nacional**, Porto, 2010.

MACHADO, A.A.S.C. Da Gênese ao Ensino da Química Verde. **Quím. Nova**. v. 34, n. 3, p. 535-543, 2011.

MACHADO, A. A. S. C. Bateria de Métricas para Avaliação da Verdura Material de Reações de Síntese, **Química Nova**, v. 37, n. 6, p. 1094-1109, 2014.

MAHAFFY P. The Future Shape of Chemistry Education. **Chem. Educ. Res. Pract.** p. 229–245, 2004.

MAHAFFY, P. Moving Chemistry Education into 3D: A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry. **J. Chem. Educ.** p. 49-55, 2006.

MARCELINO, L. V.. **Os tipos de Racionalidade na Química Verde e suas Relações com Ensino**. 2020. 198 f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

MARCELINO, L. V.; MARQUES, C. A.. A pesquisa em Ensino de Química Verde: temas e tipologias de estudos. **Amazônia - Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v.19, n. 42, p. 232-254, 2023.

MARQUES, C.A; MACHADO, A.A.S.C. Una visión sobre propuestas de enseñanza de la Química Verde. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias** v. 17, n.1, 19-43, [s.l.], 2018.

MELO, E.C.; SOUZA, K.S..Química Verde no Ensino de Química: Uma revisão entre 2011 e 2021 a partir de periódicos científicos. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, e43711931981, 2022.

MELO, N. R. V. **Experimentos verdes em química orgânica: uma proposta de aplicação do método da estrela verde para o curso técnico em química**. 2019. 108 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação, Belo Horizonte, 2019.

MENDES, M. **Experimentos de química geral na perspectiva da Química Verde**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2018.

MENDES, L. O. R.; PEREIRA; A. L. Revisão sistemática na área de Ensino e Educação Matemática: análise do processo e proposição de etapas. **Educ. Matem. Pesq.**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 196-228, 2020.

MOREIRA, A. M.. **Química Verde: Análise da Emergência do Estilo de Pensamento a Partir da Perspectiva Fleckiana**. 2018. 162 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e em Matemática) - Programa de Pós Graduação em Educação em Ciências e em Matemática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

MOREIRA, M.R; *et al.* O Brasil rumo a 2030 ? Percepções de especialistas brasileiros (as) em saúde sobre o potencial de o País cumprir os ODS Brazil heading to 2030. **Saúde e Debate**. Rio de Janeiro. v.43, n. 7, p. 22-35, 2019.

MOZETO, A. A.; JARDIM, W. DE F.. A Química Ambiental no Brasil. **Química Nova**, v. 25, p. 7–11, maio 2002.

NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Resolução adotada pela Assembleia Geral em 25 de setembro de 2015. Nova York: Nações Unidas, 2015. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/pt/agenda-2030/> . Acesso em: 21 jan. 2025.

NARDOTTO, R. S. **A Química Verde e a Aprendizagem Significativa: uma proposta de abordagem alternativa para o ensino de Química Verde**. 2021. 121 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino) - Programa de Pós-Graduação em Ensino, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Cornélio Procopio, 2021.

PEREIRA, K. M. **Inserção dos Princípios da Química Verde em uma Disciplina Experimental sob o Enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade**. 2018. 162 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2018.

PEREIRA, R. L. **Divulgação científica sobre a Química Verde em vídeo: reflexões dialógicas**. 2020. 189 f. Dissertação (Mestrado Profissional de Educação e Docência) - Programa de Mestrado Profissional de Educação e Docência, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

PITANGA, A. F.. Crise da Modernidade, Educação Ambiental, Educação para o Desenvolvimento Sustentável e Educação em Química Verde: (Re)Pensando Paradigmas. **Revista Ensaio**, v.18, n. 3, p.141-159 ,2016.

PRADO, A.G.S. Química Verde, os Desafios da Química do novo Milênio. **Quím. Nova**. Brasília. v. 26, n. 5, p. 738-744, 2003.

RAMOS, M. A. **Química Verde - potencialidades e dificuldades da sua introdução no ensino básico e secundário**. Dissertação (Mestrado em Química para o Ensino), Departamento de Química e Bioquímica - Faculdade de Lisboa, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2009.

RODRÍGUEZ, A. S. M; DEL PINO, J. C. O Enfoque Ciência Tecnologia e Sociedade (CTS) na Reconstrução da Identidade Profissional Docente.. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 24, n. 2, p. 90–119, 2019. <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/1294>. Acesso em: 22 fev. 2025.

ROLOFF, F. B.. **A Circulação de Conhecimentos em Química Verde em Teses e Dissertações: implicações ao seu ensino e à formação de professores de Química**. 2016. 346 f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Programa de Pós-Graduação Curso de Doutorado em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

ROLOFF, F. B; MARQUES; C. A. Contribuições de produções acadêmicas nacionais sobre Química Verde e seu ensino. **Amazônia – Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v.14 (32), Jul-Dez 2018. p.78-91.

RÜNTZEL, P. L. **Motivações de professores ao uso de um Ambiente Temático Virtual para simulações de rotas de síntese em Química Verde.** 2022. 174 f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

SANDRI, M.C.M. **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, 2019.

SANDRI, M.C.M; MARQUES, C.A. **O Ensino da Química Verde: Possíveis Abordagens.** In: Encontro Centro Oeste de debates Sobre o Ensino de Química, Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, Barro do Garças, set. 2021.

SANDRI, M.C.M; SANTIN FILHO, O.S. Os Modelos de Abordagem da Química Verde no Ensino de Química. **Educación Química**, v. 30, n.4, p. 34-46, out, 2019.

SANDRI, M.C.M.; *et al.* **Química Verde: propostas, experiências e reflexões para a formação de professores.** Ponta Grossa: Texto e Contexto, 2023.

SANDRI, M. C. M.; *et al.* Panorama sobre produções voltadas ao ensino de Química Verde no Brasil: incursões metodológicas. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA**, 21., 2023, Uberlândia. Anais [...]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2023. Disponível em:
<https://www.even3.com.br/anais/xxieneq2022/539057-panorama-sobre-producoes-voltadas-ao-ensino-de-quimica-verde-no-brasil--incursoes-metodologicas>. Acesso em: 03 maio 2025.

SANDRI, M. C. M. **Contribuição da Inserção do Enfoque CTSA e da Química Verde na Formação de Licenciandos em Química.** 2016. 356 f. Tese (Doutorado em Educação) - Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência e a Matemática do Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

SAQUETO, K. C. **Química Verde no Ensino Superior de Química: estudo de caso sobre as práticas vigentes em uma IES Paulista.** 2015. 285 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

SILVA, B.B; *et al.* **Utilização dos conceitos da Química Verde nas aulas práticas de laboratório.** In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 18º, 2016, Florianópolis, Artigo, Rio de Janeiro, 2016.

SILVA, I.F; *et al.* Movimento Química pós 2022: construção de um plano de ação para que a química e seus atores impactam a sustentabilidade e soberania no Brasil. **Quim. Nova**, v. 45, n. 4, p. 497-505, 2022.

SIMON, M.J. **Abordagem da Química Verde no Ensino de Química: a eficiência do Ácido Nítrico diluído no preparo de amostras de sedimentos**. 2022. 102 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química do Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2022.

SJÖSTRÖM, J. Green chemistry in perspective - models for GC policy and knowledge. **Green Chem.**, vl. 8, p. 130-137, 2006.

SJÖSTROM, J. Towards Bildung-Oriented Chemistry Education. **Sci. & Educ.** p. 1873–1890, 2013.

SJÖSTRÖM, J; TALANQUER, V. Humanizing Chemistry Education: From Simple Contextualization to Multifaceted Problematization. **Journal of Chemical Education**. v. 91, p. 1125-1131, 2014.

SOUSA, A.C; SILVA, C.E. O ensino de Química na construção de um futuro sustentável: princípios da Química Verde e questões curriculares. **Rev. Principia**, n. 44, João Pessoa, 2018.

SOUZA, C. C. O. **Experimentos de Química Verde numa Abordagem CTS no Ensino Médio: ferramenta de construção de Aprendizagens e promoção de Desenvolvimento Sustentável**. 2020. 92 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Química) - Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

SOUZA, F. F. **Construção e avaliação de um ambiente virtual de aprendizagem voltado à Educação em Ciências, Química Verde e Sustentabilidade Socioambiental**. 2013. 113 f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

SOUZA, F. F. **As Tecnologias Educacionais e a Teoria Crítica: análise da compreensão de licenciando de Química acerca dos ambientes virtuais, Química Verde e Sustentabilidade Socioambiental**. 2017. 155 f. Tese (Doutorado em Educação) - Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017.

SOUZA, M. S. **“Otimização e Padronização das práticas laboratoriais realizadas no Departamento de Química da Universidade Federal de Mato Grosso, com abordagem no contexto da Química Verde”**. 2016. 118 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

SOUZA, P.G. Conceitos e Adoção de Química Verde: uma Revisão Bibliográfica. **R. gest. sust. ambient.**, Florianópolis, v. 8, n. 1, p.248-264, jan/mar. 2019.

TALANQUER, V. Chemistry Education: Ten Facets to Shape Us. **J. Chem. Educ.** p. 832-838, 2013.

TASSO, J. F. N. **A experimentação no curso de Licenciatura em Química da UFSCar (campus São Carlos): aproximações e distanciamentos à Química Verde.** 2018. 139 f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Programa de Pós Graduação em Educação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

TAVARES, M.J.F.; *et al* . A Química Verde nos Artigos Publicados na Química Nova na Escola: 2011-2021. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.2, p.11308-1132, 2022.

TROST, B.M. The atom economy - a search for synthetic efficiency. **Science**, 1991.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Specialized Manual on Green and Sustainable Chemistry Educations and Learning in All Segments of Society.** Geneva: UNEP, 2023.

VAZ, C.R.S.; *et al* . A Adoção da Química Verde no Ensino Superior Brasileiro. **Química Nova**, v. 47, nº 3, p. 1-10, 2024.

YUNES, S.F.; MARQUES, C.A.. **A métrica holística estrela verde - Análise de atividades experimentais no ensino de química.** Ponta Grossa: Atena, 2023.

WCED (World Commission on Environment and Development). **Our Common Future.** Oxford: Oxford Univ. Press, 1987

ZANDONAI, D. P. **A inserção da Química Verde no curso de Licenciatura do DQ-UFSCAR: um estudo de caso.** 2013, 109 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Química) - Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

ZUIN, V.. **A inserção da dimensão ambiental na formação de professores de Química.** Campinas: Átomo, 2011.

ZUIN, V. G.; *et al* . Education in green chemistry and in sustainable chemistry: perspectives towards sustainability. **Green Chesmistry**, v. 23, p. 1594–1608, 2021.