



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

Érica Dayane Souza Dias

**UM PANORAMA DO ENSINO DA QUÍMICA VERDE EM CURSOS DE  
GRADUAÇÃO EM QUÍMICA EM UNIVERSIDADES PÚBLICAS BRASILEIRAS**

Florianópolis  
2024

Érica Dayane Souza Dias

**UM PANORAMA DO ENSINO DA QUÍMICA VERDE EM CURSOS DE  
GRADUAÇÃO EM QUÍMICA EM UNIVERSIDADES PÚBLICAS BRASILEIRAS**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Educação Científica e Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Marques

Florianópolis  
2024

Dias, Érica Dayane Souza  
UM PANORAMA DO ENSINO DA QUÍMICA VERDE EM CURSOS DE  
GRADUAÇÃO EM QUÍMICA EM UNIVERSIDADES PÚBLICAS  
BRÉSIL. Érica Dayane Souza Dias ; orientador, Carlos Alberto  
Marques, 2024.  
171 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas,  
Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e  
Tecnológica, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Química Verde.  
3. Ensino da Química Verde. 4. Currículo de Química. 5.  
Graduação em Química. I. Marques, Carlos Alberto. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-  
Graduação em Educação Científica e Tecnológica. III.  
Título.

Érica Dayane Souza Dias

**UM PANORAMA DO ENSINO DA QUÍMICA VERDE EM CURSOS DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA EM UNIVERSIDADES PÚBLICAS BRASILEIRAS**

O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado, em 15 de julho de 2024, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Santiago Francisco Yunes, Dr.  
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Juliana Barreto Brandão, Dra.  
Instituição Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca

Profa. Marilei Casturina Mendes Sandri, Dra.  
Instituição Universidade Estadual de Ponta Grossa

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Doutora em Educação Científica e Tecnológica.

Insira neste espaço a  
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a  
assinatura digital

Prof. Dr. Carlos Alberto Marques  
Orientador

Florianópolis, 2024.

Dedico este trabalho a todos que me incentivaram a não desistir, a me reerguer e continuar. Aqueles que depositaram em mim a confiança que muitas vezes me faltou.

## AGRADECIMENTOS

Agradecer é sempre fundamental, mostra humildade e reconhecimento de que não fazemos nada sozinhos. E escrever uma tese, sem dúvida, é um árduo trabalho solitário, mas que não se conclui sem alguma companhia.

Ao apoio da minha família, que se orgulha e se alegra pelos meus feitos e conquistas, que se faz presente mesmo distante, que me motiva e encoraja. Ser a primeira pessoa de uma família a concluir um doutorado é um marco importante, e espero que eu seja apenas a primeira de muitas.

Ao meu parceiro de vida, Roni. Sem dúvidas a pessoa que mais segurou minha mão e me ampara nessa longa caminhada. Sua paciência, motivação, encorajamento, e todas as pequenas ações que você fez para me apoiar foram gigantes e fundamentais para que eu conseguisse seguir em frente. Ansiamos muito por esse momento de finalização do ciclo do doutorado, e espero que tenhamos uma vida longa, feliz e tranquila juntos. Nunca cansarei de agradecer, amo você.

Aos meus amigos que encaram o mesmo caminho que escolhi, com quem compartilhei muitas dores, reclamações, surtos e expectativas. Especialmente ao Júlio e ao Léo, que dedicaram muitas horas para tirar minhas dúvidas e sugerir leituras, referências e ideias. Muito obrigada pela paciência e parceria, sempre.

Ao meu orientador, Beбето, que mais uma vez aceitou o desafio de me orientar. Obrigada pela colaboração, paciência, dedicação e aprendizados compartilhados.

Aos membros da banca, por gentilmente contribuírem na execução e finalização desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por me conceder bolsa de estudos no período do doutorado.

Já não há meio ambiente... Mas preservemos o terço de ambiente que nos resta.  
(Veríssimo Andrade)

## RESUMO

A Química Verde (QV) surgiu na década de 1990 com o objetivo de reduzir os impactos ambientais dos processos e produtos químicos, especialmente a poluição. Inicialmente, os pesquisadores focaram no desenvolvimento de alternativas de sínteses químicas e a substituição de catalisadores e solventes, cujos resultados eram paulatinamente trazidos à formação do químico. Nas duas primeiras décadas, a literatura da área mostrou um aumento no número de trabalhos científicos sobre QV, mas as pesquisas sobre seu ensino ainda são incipientes. A incorporação de conceitos de QV no ensino da química contrastava com suas práticas tradicionais. Todavia, na última década, esse panorama vem mudando em vários países, tornando essencial investigar a integração da QV nos currículos dos cursos de Química para compreender sobre as mudanças da Química relacionadas aos compromissos com a salvaguarda do ambiente. Este trabalho visa analisar e problematizar as características curriculares e pedagógicas do ensino de QV nos cursos de graduação em Química das universidades públicas brasileiras. A pesquisa, de natureza documental, analisou 53 planos de ensino de disciplinas de Química, coletados nos sites dessas instituições até meados de 2022. Constatou-se que a QV é inserida de duas formas: 1) disciplinas com inserções pontuais sobre QV e 2) disciplinas que abordam diretamente a QV. Os planos que não tratam diretamente da QV indicam uma incorporação gradual de seus princípios. A análise dos planos de ensino que abordam diretamente a QV revelou três categorias: 1) planos que organizam as disciplinas em torno dos 12 princípios da QV de forma superficial; 2) planos que oferecem uma abordagem crítica e estruturada, integrando práticas experimentais e discussões sobre sustentabilidade; 3) planos que exploram implicações epistemológicas, socioambientais e filosóficas, promovendo uma reflexão crítica. Concluiu-se que a inserção da QV nas universidades públicas brasileiras é incipiente, mas em crescimento em relação ao passado recente. A plena integração da QV no currículo é fundamental para preparar estudantes para práticas profissionais éticas e sustentáveis, promovendo a minimização dos impactos ambientais e a utilização de recursos renováveis. A máxima integração entre a QV e o ensino de química envolve a incorporação dos princípios da QV, estudos de caso, práticas experimentais verdes e o estudo e aplicação de métricas verdes como componentes centrais das disciplinas. Além disso, a abordagem investigativa e formativa dos químicos deve evoluir para uma análise sistêmica e holística, com uma perspectiva sociocrítica. Quanto às questões metodológicas sobre a expansão da QV no ensino da química, é necessário promover estudos mais aprofundados, particularmente sobre o acompanhamento de práticas docentes em sala de aula. Experiências metodológicas bem-sucedidas ajudarão a qualificar a integração dos resultados de pesquisas e práticas em QV nos currículos de Química, contribuindo para a formação de químicos com uma sólida compreensão dos princípios da QV. Essa formação é vital para enfrentar os desafios ambientais globais e promover um desenvolvimento científico e tecnológico sustentável.

**Palavras-chave:** Química Verde; Ensino da Química Verde; Currículo de Química; Graduação em Química.



## ABSTRACT

Green Chemistry (GC) emerged in the 1990s with the goal of reducing the environmental impacts of chemical processes and products, especially pollution. Initially, researchers focused on developing alternatives for chemical syntheses and replacing catalysts and solvents, whose results were gradually incorporated into chemists' training. In the first two decades, the literature in the field showed an increase in the number of scientific papers on GC, but research on its teaching is still incipient. The incorporation of GC concepts into chemistry teaching contrasted with traditional practices. However, in the last decade, this panorama has been changing in several countries, making it essential to investigate the integration of GC into the curricula of Chemistry courses to understand the changes in Chemistry related to commitments to environmental protection. This work aims to analyze and problematize the curricular and pedagogical characteristics of GC teaching in undergraduate Chemistry courses at Brazilian public universities. The research, of a documentary nature, analyzed 53 syllabi of Chemistry subjects collected from the websites of these institutions up to mid-2022. It was found that GC is introduced in two ways: 1) subjects with occasional insertions on GC and 2) subjects that directly address GC. The syllabi that do not directly address GC indicate a gradual incorporation of its principles. The analysis of syllabi that directly address GC revealed three categories: 1) syllabi that organize the subjects around the 12 principles of GC in a superficial way; 2) syllabi that offer a critical and structured approach, integrating experimental practices and discussions on sustainability; 3) syllabi that explore epistemological, socio-environmental, and philosophical implications, promoting critical reflection. It was concluded that the incorporation of GC in Brazilian public universities is incipient but growing compared to the recent past. The full integration of GC into the curriculum is essential to prepare students for ethical and sustainable professional practices, promoting the minimization of environmental impacts and the use of renewable resources. The maximum integration between GC and chemistry teaching involves incorporating the principles of GC, case studies, green experimental practices, and the study and application of green metrics as central components of the subjects. Furthermore, the investigative and formative approach of chemists must evolve into a systemic and holistic analysis, with a socio-critical perspective. Regarding methodological issues on the expansion of GC in chemistry teaching, it is necessary to promote more in-depth studies, particularly on monitoring teaching practices in the classroom. Successful methodological experiences will help to qualify the integration of research results and practices in GC into Chemistry curricula, contributing to the training of chemists with a solid understanding of GC principles. This training is vital to face global environmental challenges and promote sustainable scientific and technological development.

**Keywords:** Green Chemistry; Green Chemistry Teaching; Chemistry Curriculum; Undergraduate Chemistry.

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	33
1.1.1 Questões complementares	33
1.2 OBJETIVO GERAL	33
1.2.1 Objetivos Específicos	34
1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE	34
<b>2 ASPECTOS GERAIS E CONTEÚDOS DE QUÍMICA VERDE</b>	<b>36</b>
2.2 A PRESENÇA DA QUÍMICA VERDE NO BRASIL: BREVE HISTÓRICO	41
2.3 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: DESAFIO E ENGAJAMENTO DA QV	46
2.4 OS 12 PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE	50
2.5.1 Métricas de massa	64
2.5.2 Métricas Holísticas	66
<b>3 O ENSINO DA QUÍMICA VERDE</b>	<b>74</b>
3.1 A PRESENÇA E IMPORTÂNCIA DO ENSINO DE QV	74
3.2 A EVOLUÇÃO NO ENSINO DA QUÍMICA POR MEIO DO ENSINO DA QUÍMICA VERDE	82
3.3 O QUE DIZEM OS CURRÍCULOS DOS CURSOS DE QUÍMICA?	87
3.4 O IMPULSIONAMENTO DA QV POR MEIO DAS TRANSFORMAÇÕES CURRICULARES	90
<b>4 PERCURSO METODOLÓGICO</b>	<b>101</b>
4.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS	101
4.2 CORPUS DE ANÁLISE	109
4.3 ANÁLISES DOS DADOS	112
4.3.1 Planos de ensino que contém apenas inserções de QV	113
4.3.2 Planos de ensino que tratam especificamente sobre QV	119
4.3.3 Síntese das análises	137
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>147</b>
<b>ANEXO A - LISTA DAS UNIVERSIDADES FEDERAIS PESQUISADAS E ONDE/COMO FORAM ENCONTRADAS AS INFORMAÇÕES SOBRE AS DISCIPLINAS</b>	<b>163</b>
ANEXO B - LISTA DAS UNIVERSIDADES ESTADUAIS PESQUISADAS E ONDE/COMO FORAM ENCONTRADAS AS INFORMAÇÕES SOBRE AS DISCIPLINAS	168



## APRESENTAÇÃO

Durante minha graduação em Química, junto com um grupo de amigos, fundamos um grupo de estudos sobre História e Filosofia da Ciência. Nosso foco inicial foi o epistemólogo Gaston Bachelard, cujas ideias despertaram em nós um profundo interesse e o desejo de cursar uma pós-graduação relacionada ao tema. Assim, descobri o Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica (PPGECT) da UFSC, no qual fui aprovada para o mestrado.

Durante o mestrado, desenvolvi uma pesquisa que relaciona os obstáculos epistemológicos identificados por Bachelard aos desafios para o desenvolvimento da Química Verde (QV). Este tema me foi apresentado pelo meu orientador e pelo nosso grupo de estudos GIEQ (Grupo de Investigação no Ensino de Química), pois não tinha tido contato com ele durante a graduação. Com o tema de pesquisa definido, enfrentei um longo percurso para compreender a QV e os obstáculos presentes em seu desenvolvimento.

Ao finalizar o mestrado, comecei a atuar como professora de Química no ensino médio e no ensino superior na Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR). Esse período foi desafiador e de muito aprendizado, pois, além de dividir meu tempo entre dois estados, assumi uma grande carga de trabalho e responsabilidades na universidade, incluindo a coordenação do PIBID e de estágios. Foi ao lecionar a disciplina de Química Ambiental que percebi os problemas práticos para o desenvolvimento da QV.

Meus alunos da UNESPAR eram de famílias de agricultores que cultivam fumo. Ao iniciar discussões sobre o uso de agrotóxicos, surpreendentemente, a maioria dos alunos defendeu seu uso, argumentando que era benéfico para a subsistência de suas famílias. Percebi então que não estava preparada para essa discussão e precisava sensibilizá-los sobre os riscos, apesar de entender as questões econômicas envolvidas. Procurando alternativas para nossas aulas, notei a ausência de menções à QV no currículo, tanto no Projeto Pedagógico do Curso (PPC) quanto em qualquer outra disciplina.

Essa constatação revelou a necessidade urgente de incluir o ensino da QV, abordando a crise ambiental e a sustentabilidade, que estavam ausentes nas disciplinas tradicionais de Química Ambiental, focadas apenas em cálculos e reações químicas relativas ao solo, ar e água. Iniciei um movimento para ensinar QV, mas enfrentei dificuldades em determinar como proceder: por onde começar? Quais seriam as melhores estratégias?

Busquei universidades que já ensinassem QV para me basear em suas práticas, mas encontrei pouca informação disponível. Mesmo em universidades onde esperava encontrar material, devido à presença de pesquisadores ativos na área, os planos de ensino sobre QV eram escassos. Dessa dificuldade surgiu a ideia da minha pesquisa de tese, motivada pelos desafios encontrados durante minha experiência docente, pelas minhas próprias limitações em ensinar o tema, e pela necessidade de avançar no ensino de QV nas universidades desde a graduação, preparando os alunos para atuarem na prevenção da poluição.

## 1 INTRODUÇÃO

A sociedade atual tem expressado preocupação, em diferentes momentos e por diferentes meios e motivos, sobre a necessidade premente de implementar medidas voltadas à preservação do ambiente. Este interesse decorre das situações e desafios cada vez mais evidentes associados à crise ambiental, cuja gravidade tem se acentuado ao longo dos anos. As evidências de que estamos em uma crise climática são crescentes, e o aumento de apenas pouco mais de 1°C nas temperaturas médias globais já nos impacta gravemente com incêndios, inundações e furacões incomuns.

Os aumentos nas temperaturas médias globais é uma problemática que ganhou força notadamente durante o advento da agricultura capitalista e a Revolução Industrial, períodos nos quais a adoção de máquinas, como a máquina a vapor, contribuiu significativamente para o aumento das emissões de gases de efeito estufa e a geração de substâncias nocivas, entre outros fatores. É previsto que os impactos se tornem mais graves à medida que o aquecimento continue. Em última análise, as atividades industriais e agrícolas, quando combinadas com outras causas, convergiram para a eclosão dos dilemas ambientais que afligem nosso planeta (ROLOFF, 2016; STUART; GUNDERSON; PETERSEN, 2021).

Esses problemas, de maneira geral, associados às atividades industriais, foram ancorados e se aceleraram por meio do desenvolvimento da ciência e tecnologia, que facilitaram o aumento desenfreado da produção, da produtividade e, por conseguinte, do consumo. Tudo isso gerou um elevado custo à natureza: a poluição e o esgotamento de recursos naturais. Enfim, a natureza (e, conseqüentemente, o planeta) degrada-se intensamente e, em muitas situações e aspectos, de modo irreversível.

Seguindo essa linha, há alguns entendimentos e diferentes formas de compreender o que seria crise ambiental. Em um dos entendimentos denota-se que “a crise ambiental está associada à incompatibilidade entre desenvolvimento e proteção ambiental” (ROLOFF, 2016, p.88). Há também uma ideia de que os problemas ambientais são resultado de um mau funcionamento do sistema, considerados a partir de um desenvolvimento tido como insustentável. Assim, as manifestações do que convencionalmente se denomina de crise ambiental (como as mudanças climáticas, o aquecimento global, queimadas, dentre outras) revelam uma ameaça para a sobrevivência da humanidade ou parte dela, sobre as quais se depositam responsabilidades às atividades da ciência Química (LÉNA, 2012). Partindo de uma perspectiva crítica, a crise ambiental é consequência de um conjunto de variáveis interconexas, que se dá em bases sociais,

econômicas, culturais e políticas, que são estruturalmente desiguais e que configuram a sociedade capitalista (PINTO; ZACARIAS, 2010). Sendo assim, a crise é responsabilidade da lógica destrutiva da acumulação do capital, associada às relações sociais que se estabelecem entre os indivíduos, levando em conta como se distribuem os meios de produção (ZACARIAS, 2012).

Responsabilizada por estar na origem de grande parte desses problemas ambientais atuais, historicamente a Química (especialmente a industrial) esteve formatada em padrão/modelo de produção (científica e industrial) cujo objetivo central era a obtenção de produtos e processos químicos de interesse econômico, subjugando os impactos gerados em seus processos (MARQUES *et al.*, 2007). O custo imediato disso tudo foi impresso na imagem social da Química, vista como vilã dos problemas ambientais, como salientado por Marques e Machado (2013) ao comentar o Relatório Brundtland (1987), quando mostram que a discussão em torno deste relatório foi dominada pelos impactos negativos dos produtos químicos como: poluição, contaminação, desastres industriais etc.

Chamizo (2011) apresenta, por meio dos estudos de William Jensen (1998), que ao longo da história a Química passou por algumas revoluções, motivadas por necessidades diferentes e mudanças de concepções da estrutura da matéria e energia. A primeira revolução ocorreu no período de 1770-1790, protagonizada por Antoine Lavoisier e tem como características gerais a química quantitativa e a linguagem própria. Já a segunda revolução, que ocorreu no período de 1855-1875 possui quatro cientistas como protagonistas: Stanislao Cannizzaro, Friedrich August Kekulé, Edward Frankland e Dmitri Mendeleiev e as características desse período são a química molecular, a valência e a tabela periódica.

Na terceira revolução, ocorrida entre 1904-1924, estão os cientistas Gilbert Newton Lewis, Frederick Soddy, William Lawrence Bragg e Friedrich Wilhelm Ostwald como protagonistas e as principais características são a química elétrica e nuclear, raios X e a físico-química. Já a quarta revolução, ocorrida entre 1945-1965, é caracterizada por mudanças significativas na ênfase da pesquisa e prática científica, bem como na estrutura das organizações acadêmicas e profissionais. Essa revolução tem como principais cientistas Linus Pauling, Robert Burns Woodward, Roald Hoffmann, Hermann Staudinger e Archer John Porter Martin, os quais contribuíram para a química instrumental, computacional, macromolecular, bioquímica orgânica sintética.

A quinta revolução é a revolução ambiental, marcada pela publicação das investigações de Sherwood Rowland e Mario Molina sobre o efeito dos clorofluorocarbonos na camada de ozônio onde, mais uma vez, a química enfrentava dificuldades diante do público por sua capacidade de contaminar o ambiente. Porém, dessa vez, os danos e os riscos eram globais. Essa fase abrange o período de 1973-1993, e o que a caracteriza são: a química ambiental, organometálica, supramolecular e nanoquímica, sendo influenciadas pelos cientistas: Mario Molina, Geoffrey Wilkinson, Jean-Marie Lehn e Harold Walter Kroto (CHAMIZO, 2011).

Neste contexto de crítica à abordagem convencional da Química, incluindo seus processos e produtos, surge nos Estados Unidos o movimento atualmente referido como Química Verde (QV), embora, mais recentemente, também seja denominado Química Verde e Sustentável (QVS) (EILKS; ZUIN, 2018). Este cenário, como delineado por Chamizo (2011) e mencionado anteriormente como o reconhecimento da responsabilidade dos profissionais da Química, começou a se formar principalmente na década de 1980. Nesse período, tornou-se mais evidente e amplamente reconhecida a responsabilidade da indústria química em relação aos desafios ambientais da época, como o uso intensivo do DDT na agricultura americana e o aumento da poluição ambiental (CARSON, 1962).

As pressões de ambientalistas e a criação da agência de proteção ambiental dos USA – a *Environmental Protection Agency* (EPA), exigiu que se buscasse agir não mais *a posteriori* quanto à poluição e a geração de resíduos gerados, considerando os resultados pouco eficazes das medidas de controle de emissão e tratamento da poluição, chamado de Paradigma de Risco (THORNTON, 2000). Esse paradigma se baseia na “capacidade assimilativa” do ambiente tanto em absorver quanto em degradar poluentes, sem que se apresentem danos ao mesmo. Também há a crença de que exista um suposto “grau de exposição”, ou seja, que organismos possam ser expostos a certa carga de poluentes e apresentar poucos (ou nenhum) prejuízo (THORNTON, 2000). O que de fato ocorreu é que o Paradigma do Risco falhou em prevenir a contaminação química global, visto que os perigos são fundamentalmente diferentes quando se compara os tipos de riscos temporários locais (para os quais essa abordagem foi planejada) e os riscos globais. Thornton (2000) apresenta seis maneiras em que as suposições do Paradigma do Risco não estão de acordo com a realidade da poluição tóxica global:

- Falha 1) Acumulação de poluentes persistentes: substâncias que persistem ou se bioacumulam não podem ser integradas em ciclos naturais. Quando descartados, mesmo em quantidades muito pequenas, esses produtos químicos se acumulam gradualmente

no meio ambiente e nos seres vivos. Com o passar do tempo e os descartes constantes, até mesmo descargas "aceitáveis" muito pequenas atingem níveis inaceitáveis. Assim, “a capacidade de assimilação do ecossistema para substâncias persistentes e/ou bioacumulativas é, portanto, zero, e a única descarga "aceitável" também é zero. Qualquer quantidade maior que zero deve levar a algum grau de contaminação global de longo prazo” (THORNTON, 2000, p. 321).

- Falha 2) Poluição global cumulativa: o foco em instalações individuais e nos ambientes locais ao seu redor está fundamentalmente em desacordo com a natureza cumulativa global da poluição química, logo desconsidera a dispersão global do dano e a simultaneidade e continuidade de milhares de outras fontes poluidoras.
- Falha 3) Complexidade toxicológica: os complexos impactos biológicos das misturas químicas não podem ser adequadamente previstos ou evitados com avaliações e estratégias de gestão que se concentram em substâncias individuais.
- Falha 4) Dados inadequados: não há pesquisas científicas suficientes sobre os riscos de substâncias e os produtos químicos sintéticos são considerados inofensivos até que demonstre ser perigoso.
- Falha 5) Formação de misturas químicas: mesmo rotas sintéticas que são controladas podem gerar produtos indesejáveis e muitos outros desconhecidos, então é irreal pensar que podemos regulá-los e controlá-los individualmente.
- Falha 6) Controle de poluição e descarte: os esforços tecnológicos para controlar os poluentes, em vez de impedir sua geração, inevitavelmente levam à acumulação global. Ou seja, por mais eficazes que os meios de controle e descarte sejam, apenas alteram o tempo ou o local em que os poluentes persistentes entram no ambiente.

Frente às limitações do Paradigma do Risco, Thornton (2000) propõe uma alternativa sob a forma de um novo paradigma, denominado de Paradigma Ecológico, pois se baseia em uma perspectiva da natureza inspirada na ecologia na qual: “organismos e ecossistemas são sistemas complexos, integrados e apenas parcialmente compreendidos nos quais a causalidade é geralmente não linear e a previsão, portanto, não confiável” (THORNTON, 2000, p. 326). Primeiramente, o Paradigma Ecológico reconhece os limites da ciência em prever e diagnosticar completamente os impactos dos produtos químicos na natureza. Então, de maneira óbvia, deve-se evitar práticas que tenham o potencial de causar danos, mesmo que não haja provas desses danos, isto é, deve-se incorporar o princípio da ação preventiva diante da incerteza científica. Entra em cena o Princípio da Precaução, que nos diz que não é necessário esperar por provas

antes de agir e que se deve evitar substâncias e tecnologias que podem ser razoavelmente presumidas como perigosas. Porém, esse princípio não especifica quais ações devem ser tomadas, por isso o Paradigma Ecológico se baseia em outros quatro princípios formulados para enfrentar os limites do Paradigma do Risco: 1) Princípio do descarte zero: para evitar acúmulo de substâncias persistentes e bioacumulativas; 2) Produção limpa: enfatiza soluções de ponta, o redesenho de produtos e processos para eliminar o uso e a geração de produtos químicos tóxicos, antes que precisem ser gerenciados e descartados; 3) Ônus reverso: aqueles que desejam usar ou produzir um produto químico sintético devem demonstrar antecipadamente que esse uso provavelmente não representa um perigo significativo e que não há alternativa mais segura disponível; 4) A escala de medidas preventivas no Paradigma Ecológico muda do microgerenciamento para grandes classes de produtos químicos e processos: a prioridade na política ambiental deve ser dada às classes que tendem a apresentar mais perigos (THORNTON, 2000). Como o problema é de ordem global, o autor enfatiza que as políticas implementadas devem ser em escala internacional.

Nesse contexto, no âmbito acadêmico, uma série de iniciativas começaram a ser desenvolvidas, impulsionadas pelo governo dos Estados Unidos. O objetivo central dessas iniciativas era promover a criação de práticas e processos voltados para a utilização eficiente de materiais, agindo-se preventivamente aos problemas da poluição do ambiente. Machado (2011) analisa alguns desses esforços, incluindo a prescrição estabelecida pelo *Pollution Prevention Act*, também conhecida como Lei da Prevenção da Poluição (P2). Essa legislação tinha como objetivo primordial “minimizar ou eliminar poluentes e resíduos de natureza química, provenientes da indústria química e similares” (pág. 535). Devido à complexidade de implementar essa abordagem, essa prescrição incorporava uma variedade de outras atividades, em geral relacionadas à reciclagem e à minimização de resíduos, visando diminuir tanto os resíduos sólidos quanto líquidos gerados em processos industriais. Além disso, havia a necessidade de identificar processos intrinsecamente mais seguros, o que envolvia uma abordagem proativa para afastar os riscos, integrando essa segurança ao próprio processo, ou seja, atuando de forma a evitar que tais riscos se manifestassem.

Dentre outras ações iniciais da QV discutidas por Machado (2011), estão aquelas idealizadas com objetivos voltados à produção de conhecimentos (científicos, em particular) que pudessem modificar a maneira como as pessoas têm utilizado o meio ambiente, de modo que este continue existindo para as gerações futuras. Atentos a essas preocupações, os programas de pesquisa do campo da Química, e áreas correlatas, têm buscado novos modos de

praticá-la e pensá-la, procurando contemplar metodologias de obtenção e uso de produtos que sejam considerados menos impactantes à saúde humana e ao meio ambiente. Algo que requer revisões nos princípios e nas práticas químicas.

Nesse contexto, ao longo dos anos, começaram a ser desenvolvidas pesquisas que atualmente se denomina Química Verde. Marques e Machado (2021), baseados em estudo anterior, dividem a QV em diferentes fases (ou períodos). A primeira fase, denominada Fase de Emergência, abrange o período do início da década de 90 até 1998, o qual inicia com as origens da QV dentro da EPA e que culmina com a publicação dos 12 Princípios no livro âncora da QV (ANASTAS; WARNER, 1998) – princípios esses que devem ser seguidos quando se pretende uma implementação da QV tanto no âmbito industrial quanto no ensino e em pesquisas na área da Química. A segunda fase é denominada Fase de Divulgação, que se inicia em 1999 com o lançamento da revista *Green Chemistry* e se encerra em 2007 com o lançamento de uma segunda revista, *Green Chemistry Letters and Reviews*. Finalmente, a terceira fase, denominada Fase de Consolidação, tem início em 2008 com a comemoração dos 10 anos da revista *Green Chemistry* e estende-se até o momento da publicação do artigo, em que os autores celebraram os 25 anos da QV (MARQUES; MACHADO, 2021).

Desde seu surgimento, a QV passou por várias fases, desenvolvendo diferentes formulações e entendimentos entre os pesquisadores na área da química. Não obstante, conforme observado por Marques *et al.* (2007), consolidou-se um consenso de que a QV tem como princípio fundamental e objetivo fomentar o desenvolvimento de alternativas que otimizem o aproveitamento dos recursos naturais, com a finalidade de prevenir a poluição ambiental desde sua origem, bem como de reduzir os riscos associados às práticas industriais para os trabalhadores, a sociedade e o ambiente. Esses propósitos são orientados pelos 12 Princípios (12P) da QV, destacando-se o princípio 1, da prevenção, como seu diferencial mais relevante. A adoção integral desse princípio, tanto por parte dos profissionais da Química quanto pelo setor produtivo, pode ter implicações substanciais na prevenção dos problemas ambientais. Portanto, a QV almeja e abrange técnicas e/ou metodologias que procuram reduzir ou eliminar o uso de solventes, reagentes ou a geração de subprodutos que sejam nocivos aos meios biótico e abiótico. Marques *et al.* (2007) concluem que estes aspectos são basilares à ciência Química pois, como consequência, incorpora-se a variável ambiental como parte integral da definição dos processos tecnocientíficos, tornando-se um novo parâmetro para sua racionalidade acadêmica e, conseqüentemente, estendendo-se aos setores industriais e ao ensino de química. A seguir apresenta-se uma concisa definição de cada um dos 12 princípios:

1. Prevenção: é melhor prevenir o resíduo do que tratar ou limpar o resíduo depois que ele foi criado.
2. Economia Atômica: métodos sintéticos deveriam ser desenhados para maximizar a incorporação de todos os materiais usados no processo dentro do produto final.
3. Síntese de Produtos Químicos Menos Perigosos: sempre que praticável, métodos sintéticos deveriam ser desenhados para usar e gerar substâncias que possuem pequena ou nenhuma toxicidade para a saúde humana ou ambiente.
4. Design de Produtos Químicos Seguros: produtos químicos deveriam ser projetados para desempenhar suas funções desejadas enquanto minimizam sua toxicidade.
5. Solventes e Auxiliares Seguros: o uso de substâncias auxiliares (por exemplo, solventes, agentes de separação, etc.) deveria se tornar desnecessário sempre que possível e inócuo se usado.
6. Design para Eficiência Energética: requerimento de energia dos processos químicos deveria ser reconhecidos pelos seus impactos ambientais e econômicos, devendo ser minimizados. Se possível, métodos sintéticos deveriam ser conduzidos em temperatura e pressão ambientes.
7. Uso de Fontes Renováveis: um material bruto ou matéria-prima deveria ser renovável sempre que praticável técnica e economicamente.
8. Redução de Derivados: derivações desnecessárias (uso de grupos bloqueadores, proteção/desproteção, modificação temporária de processos químicos ou físicos) deveriam ser minimizados ou evitados se possível, porque tais passos requerem reagentes adicionais e podem gerar resíduos.
9. Catálise: reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) são melhores que reagentes estequiométricos.
10. Design para Degradação: produtos químicos deveriam ser projetados para que ao fim de suas funções eles se quebrem em produtos de degradação inócuos e não persistam no ambiente.
11. Análise da Prevenção da Poluição em Tempo Real: metodologias analíticas precisam ser melhor desenvolvidas para permitir monitoramento e controle em tempo real e durante o processo, antes da formação de substâncias perigosas.
12. Química Inerentemente Segura para a Prevenção de Acidentes: substâncias e a forma de uma substância usada em um processo químico deveriam ser escolhidas para minimizar o potencial para acidentes químicos, incluindo liberações, explosões e incêndios (ACS, 2017 - tradução nossa).

Por outro lado, o fator econômico também está ligado ao próprio significado do termo verde na QV. Anastas e Beach (2008) apresentam que o termo “Química Verde” é proveniente dos duplos sentidos da palavra verde: tanto em relação à preocupação com o meio ambiente quanto do fato de verde ser a cor do dólar americano. Alguns autores, como Clark (1999), Poliakoff *et al.* (2002), Anastas e Beach (2008), salientam que isso se dá pela busca em atender aos interesses de químicos gestores e industriais, unindo objetivos ambientais aos do lucro econômico, por exemplo, o da redução dos custos com tratamento de resíduos por meio da QV (CLARK, 1999) ou as exigências por parte das agências de financiamento de que as pesquisas sejam de interesse industrial e economicamente vantajosas (POLIAKOFF *et al.*, 2002).

Marcelino (2020, p. 137) discute que “na QV, a negociação reformista entre os valores ambientais e os valores econômicos pode conduzir à harmonia das ilusões do sistema capitalista”, ou seja, é algo que Marques e Machado (2014) apontam como uma certa ilusão sobre a existência de compatibilidade entre crescimento econômico e preservação ambiental, ideia que também se manifesta no conceito de desenvolvimento sustentável (WCED, 1987). Já

outros autores (WINTERTON, 2003; ANASTAS; BEACH, 2008) salvaguardam a viabilidade de uma interação sinérgica entre crescimento econômico e preservação ambiental por intermédio de inovações tecnológicas. Todavia, essa ideia de interação sinérgica e positiva entre inovação tecnológica, aumento da produtividade e salvaguarda ambiental é uma discussão complexa e ainda não resolvida na literatura (BRYNJOLFSSON; ROCK; SYVERSON, 2017).

Em uma investigação sobre a QV, Debref (2012) verifica que o conceito de inovação tecnológica não está definido no campo e, ainda, que em favor de interesses econômicos como a maximização do lucro, algumas estratégias propostas na QV acabam perdendo seu sentido ambiental. Assim, segundo este autor, na busca por inovações tecnológicas pode-se obter um resultado contrário ao pretendido, pois ao se apressar a criação de produtos e serviços, estes potencializam o consumo pela população, logo, acelera-se o esgotamento dos recursos.

Ainda sobre o fator econômico, embora os proponentes da QV busquem de certa forma compatibilizar as dimensões econômica e ambiental, isso tem gerado inquietações e tensionamentos dentro do campo QV e permanece uma questão pouco resolvida. Howard-Greenville *et al.* (2017), em uma pesquisa realizada mais de 15 anos após os primeiros trabalhos sobre QV, descrevem algumas tensões que retratam essas divergências de interesses que acabam dificultando a colaboração entre esses domínios e pretensões da QV. Nesta pesquisa, os autores realizaram entrevistas com químicos defensores da QV mas que atuam em diferentes ocupações como pesquisadores, educadores e gestores, logo, cada grupo de químicos atribui diferentes valores à QV. Químicos que atuam como pesquisadores possuem uma visão mais teórica ou acadêmica da QV, como se o seu valor estivesse relacionado à evolução da ciência e a descoberta. Já os químicos que atuam como gestores entendem a QV por uma visão pragmática, que oportuniza um destino eficiente de recursos. Químicos que atuam como educadores possuem uma visão mais moralizante da QV, devido a ela apresentar uma nova maneira de relação com o mundo e um forte sistema de valores ambientais.

Essas diferentes visões da QV provocam tensões variadas entre os químicos defensores da QV. Howard-Greenville *et al.* (2017) discutem que, entre os químicos que atuam como acadêmicos e os químicos que atuam como gestores, há a tensão de qualidade pois, os químicos acadêmicos supõem que o direcionamento da química para resolver problemas práticos pode diminuir o seu valor como conhecimento científico. Já entre químicos que atuam como educadores e como acadêmicos pode surgir a tensão de complexidade pois, para os acadêmicos, seu grau de liberdade na pesquisa é diminuído pela QV, diminuindo a complexidade das

pesquisas e criando uma polarização dentro da Química, de forma geral, entre os verdes (bons) e os vermelhos (ruins). Por último, entre os químicos atuantes como gestores e os atuantes como educadores surge a tensão de compromisso, a qual manifesta-se devido a falta de compatibilidade de valores pois, para os gestores, especialmente as questões econômicas devem limitar a adoção de alternativas verdes e, para os educadores, o valor ambiental da QV deve ser o principal. A tensão de compromisso reproduz a incompatibilidade entre interesses econômicos e ambientais, mas os químicos defensores da QV devem, estrategicamente, mostrar que suas práticas verdes e seus conhecimentos inovadores também são economicamente viáveis, de modo a promover a mudança no setor industrial com o reconhecimento dos valores ambientais.

Marcelino (2020) discute que as tensões entre valores ambientais e econômicos evidenciam que a QV necessita declarar um papel de movimento social e isso pode ser feito a partir de relações ativas com movimentos ambientais, de sustentabilidade e ainda com outros grupos sociais para, juntos, se tornarem um grupo que exerça pressão de maneira mais forte e efetiva nos setores econômico-industriais, já que os mesmos sofrem uma grande influência política e um grupo pequeno apenas de especialistas de QV pode não ter a força necessária para pressionar até que haja transformação nas práticas industriais e (até mesmo) da Química. Marcelino (2020) conclui que:

Na formação desse grande movimento social encabeçado pelos químicos verdes, a educação química desempenha um papel primordial, não só na formação de especialistas que levem a QV para a indústria num movimento tecnocrático, mas também no estabelecimento de diálogo com a população em geral, na criação de uma prática em QV socialmente engajada e efetiva em implementar os valores ambientais (MARCELINO, 2020, p. 111).

Também sobre a existência de tensões, cabe ressaltar as pesquisas de Marques e deste com Machado (MARQUES *et al.*, 2014; MARQUES; MACHADO, 2014), mostrando que as relações entre QV, sustentabilidade e os limites termodinâmicos ainda são pouco claras e muito recentes na literatura em QV.

Em pesquisa na literatura, envolvendo a QV e o tema da sustentabilidade, Marques e Machado (2014) discutem que os principais autores de QV não dão devida importância aos limites termodinâmicos impostos pela Segunda Lei quando abordam o tema do desenvolvimento sustentável e da sustentabilidade. Aspecto importante especialmente porque envolve a dissipação de energia nos processos de transformação da matéria-energia e um inexorável aumento da entropia e desgaste da energia útil. De acordo com Marcelino (2020), o

desprezo ou inobservância dos limites termodinâmicos quando se discute a possibilidade de alcance da sustentabilidade por parte de químicos autointitulados verdes, acaba por dificultar ou impossibilitar uma correta avaliação de suas práticas e dos resultados por eles obtidos e ao desempenho da QV na busca de proteção ambiental nos processos e produtos da Química. Assim, entendemos que a sustentabilidade precisa ser vista como um conceito ideal, uma intenção e algo a ser buscado, mas que se deve reconhecer que há limites em seus propósitos.

Conforme apresentado por Anastas e Eghbali (2010) e discutido por Marcelino (2020), seus proponentes formularam como principal valor da QV a prevenção dos impactos ambientais - e como já salientamos, algo impresso nos 12 princípios. Porém, esses valores estão muito mais na dimensão teórica ou filosófica (se diz que devemos praticá-los, não dizendo como fazer). De outra parte, ainda segundo Anastas e Eghbali (2010), parece não ser suficiente dizer que se devam desenvolver práticas ambientalmente benignas, elas também precisam ser viáveis técnica, científica e economicamente. Talvez por conta desses limites técnicos e dos conflitos entre interesses econômicos com os aspectos socioambientais, as alternativas da indústria Química continuam não sendo benignas ao meio ambiente devido às vantagens econômicas. Marcelino (2020) reforça que esse tipo de prática “demonstra que a QV tem possibilidade de ação limitada frente ao poder econômico e que economia e ambiente não competem em patamares equilibrados” (p. 131). Ao longo de sua discussão o autor argumenta que, na QV, a negociação entre os valores ambientais com os valores econômicos pode criar a ilusão de que há compatibilidade entre crescimento econômico e preservação ambiental (seguindo a ilusão já manifesta anteriormente na definição do próprio conceito de desenvolvimento sustentável expressa no Relatório Brundtland, 1987). Este salienta que os ditos químicos verdes precisam assumir a questão da insustentabilidade ambiental, baseados nos postulados termodinâmicos (MARCELINO, 2020).

Em trabalho mais recente, Anastas *et al.* (2018) apresenta um novo panorama, afirmando que a adoção de tecnologias de QV tem sido impulsionada, tanto por questões de avanços técnicos na área, quanto por conta da conscientização pública com relação ao comportamento do consumidor e também com políticas governamentais. Os autores acreditam que a chave para a construção de uma relação de confiança entre os profissionais da Química e a comunidade em geral reside na transparência, tanto na geração e comunicação de métricas ambientais e sociais, quanto no ato de considerar os cuidados na geração de novas tecnologias para que essas não venham a ter consequências não intencionais. Neste artigo, os autores destacam um amplo espectro de pesquisas e artigos de revisão de QV dos últimos anos, com

objetivo de mostrar os progressos das pesquisas acadêmicas e os entendimentos fundamentais das propriedades e mecanismos químicos. Além disso, eles também apresentam o progresso em atividades empreendedoras e na implementação de processos aprimorados na indústria.

Apesar da amplitude dos avanços científicos que foram incorporados ao campo, ainda existem desafios (enormes), que podem ser vistos nos 12P que, mesmo que sejam uma estrutura útil, ainda há a necessidade de um entendimento maior sobre eles, de que não são 12P independentes, mas sim um sistema interconectado, no qual as sinergias do projeto são imaginadas e realizadas. Anastas *et al.* (2018) declaram que é somente por meio dessa abordagem (interconectada dos 12P) que novas funções e desempenhos poderão ser realizados para uma inovação transformadora genuína, superando o *status quo* de apenas tornar as tecnologias mais modernas e eficientes.

Para exemplificar e tornar mais clara as concepções que discutem nesse artigo em relação aos 12P, Anastas *et al.* (2018) elaboraram um diagrama de árvore, o qual denominaram *Green ChemisTREE* (uma metáfora relacionada ao termo *Green Chemistry*), com o objetivo de a informação ser concisa, informativa e visual, incentivando o leitor a refletir sobre o que está nas raízes do progresso na Química. Abaixo reproduzimos esse diagrama, por meio da Figura 1, onde os ramos representam cada um dos 12P da QV, e as folhas representam as técnicas disponíveis para um químico verde (como mecanismos, procedimentos etc.) que podem ser usadas para realizar os potenciais benefícios da QV.

**Figura 1.** A *Green ChemisTREE*, destacando as áreas de investigação e progresso relevantes para cada um dos 12 Princípios da Química Verde (conforme representado por um ramo).



políticos e culturais estejam alinhados aos sistemas propícios à vida” (ANASTAS *et al.*, 2018, p. 1950, tradução nossa).

Apesar das dificuldades enunciadas, do ponto de vista formativo e educacional, alguns autores defendem que, em todos os níveis de ensino, os alunos devem ser inseridos à filosofia e práticas da QV (ANASTAS; KIRCHHOFF, 2002), ao mesmo tempo que é de vital importância que haja a inserção da QV nos currículos dos cursos de Química para que a formação desses profissionais seja aperfeiçoada com vistas à sustentabilidade (MARQUES *et al.*, 2013; MACHADO, 2014; ZUIN *et al.*, 2015). A relação entre Química e questões ambientais, particularmente com o desenvolvimento sustentável, também tem despertado interesse de pesquisadores (ZUIN *et al.*, 2015; ZUIN; MARQUES, 2015). No campo da educação e ensino da QV, Zuin (2011) afirma que existe uma concepção, na QV, que pressupõe uma racionalidade técnica/instrumental, onde acredita-se que o estudo de práticas e técnicas que sejam ambientalmente corretas seja suficiente para criar um novo comportamento nos estudantes.

Em sua pesquisa, Marcelino (2020) diferencia a racionalidade técnica da racionalidade instrumental, argumentando que a racionalidade técnica trata tanto do âmbito da moral quanto da técnica, ou seja, se uma ação é correta, boa e eficaz. Já a racionalidade instrumental é aquela por meio da qual o sujeito realiza juízos apenas para alcançar, irrefletidamente, fins previamente dados por outros sujeitos, ou seja, para fazer isso, é preciso fazer aquilo. Na racionalidade técnica, o sujeito se questiona por que deve fazer algo, reflete criticamente sobre sua intencionalidade. Na racionalidade instrumental, o sujeito é apenas uma ferramenta para a ação de outro, ele apenas faz, sendo que outro sujeito determina o que deve ser feito com base em seus próprios valores e intenções. O autor conclui que as tentativas da QV em harmonizar as relações entre economia e ambiente podem levá-la à racionalidade instrumental, a partir do momento em que não haja mais questionamentos sobre os valores e interesses econômicos e os meios da QV sejam regulados nos movimentos de elite. Há possibilidades de superar a racionalidade instrumental dentro da QV quando se discutem aspectos do ensino de Química para que ocorra o desenvolvimento de uma racionalidade crítica. Baseado em Talanquer (2013), Marcelino (2020) discute que é necessário que o ensino de Química se torne mais autêntico, significativo e relevante e, para que se alcance essa mudança na imagem (e nas práticas) da Química, deve-se juntar seus elementos conceituais com seus aspectos éticos.

A discussão sobre a necessidade de adoção de uma nova racionalidade na química (ambiental) para ressignificar formas de produção, para que sejam menos impactantes ao meio

ambiente e aos seres vivos, exige a construção de novas bases racionais e de uma perspectiva crítica, que solicita a participação efetiva dos sujeitos. Talanquer (2013) afirma que formar um cidadão que seja quimicamente responsável não é equivalente a formar um indivíduo bem-informado, ou seja, a formação com responsabilidade demanda conhecimentos que vão além da explicação de fenômenos, mas se relaciona a saber mostrar como a Química provocou mudanças no mundo e oportunizou ao ser humano a interação com o ambiente de forma mais eficiente. Assim, quando se busca possibilitar a racionalidade crítica, é necessário rever e questionar as supostas autonomia e neutralidade da Química (verde), expor os interesses que surgem na sua atividade, e incentivar a participação democrática dos grupos de interesse (MARCELINO, 2020). Ancorado nos estudos de Adorno e Horkheimer (1985) e Nobre (2004), Marcelino (2020) conclui que a racionalidade crítica é aquela que “coloca a emancipação como compromisso máximo das ações humanas e a dúvida metódica como o compromisso crítico” (p. 169).

Seguindo essa perspectiva crítica da QV, particularmente necessária ao ensino da QV, alguns autores têm salientado sobre a necessidade de superação das situações em que apenas ocorra ou se incentive a inserção dos 12P em atividades experimentais de forma pontual (ROLOFF; MARQUES, 2018; MARQUES; MACHADO, 2018; MARQUES *et al.*, 2020). Isso é importante, pois se deve ampliar a formação química para se ter uma maior conexão com as discussões que envolvam a ciência e o ambiente, passando por relações entre a sociedade e a tecnologia (CTS), de forma que a educação seja voltada às questões ambientais de maneira crítica e com objetivos de exercer a cidadania (ZANDONAI *et al.*, 2014; MARQUES; MACHADO, 2018; SANDRI; FILHO, 2019).

De acordo com alguns autores (VILCHES; PEREZ, 2002; PRADO, 2003; PINTO *et al.*, 2009; MACHADO, 2011; FARIAS; FÁVARO, 2011), é importante haver a difusão da QV nos currículos dos cursos de graduação relacionando-a com a sustentabilidade, pois a mesma demonstra grande potencial para discussões (e possíveis soluções) dos problemas relacionados às questões energéticas, alimentares, ambientais e de sustentabilidade, já que estas são as necessidades atuais da nossa sociedade e não é mais aceitável que os cursos continuem formando químicos sem essas preocupações.

É facilmente constatável na literatura que necessidades ambientais e de maior compromisso da Química com soluções aos problemas socioambientais tem feito crescer as produções em QV em eventos e revistas, tanto nacionais quanto internacionais. Há ainda

algumas evidências investigativas de que, de maneira geral, a QV tem sido inserida nos currículos e formação dos químicos em instituições de ensino no Brasil. Contudo, a principal forma de presença da QV nos currículos formativos, especialmente universitários, são inserções de atividades práticas químicas baseadas nos princípios da QV (MARQUES; MACHADO, 2018; MARQUES *et al.*, 2020), sendo a área da Orgânica a que possui maior número de contribuições, seguida da área da Analítica (Zandonai *et al.*, 2013). Mas, como apontam Cunha e Santana (2012) e Marques e Machado (2018), apesar de haver uma crescente no número de trabalhos científicos que consideram a QV, ainda são muito incipientes as pesquisas na área da Educação e Ensino da QV com propostas dirigidas a sua integração nos currículos de Química. Essa incipiência também parece predominar em produções voltadas à educação básica. Assim, consideramos importante discutir a formação de professores e inferir suas contribuições para os outros níveis.

Reforçamos, assim, o trazido por Pitanga (2016, p. 145),

A crise ambiental é um processo que ultrapassa os limites físicos relativos ao esgotamento dos recursos naturais. Deveras, apresenta-se como uma crise do conhecimento, e, assim, desde os primeiros momentos em que se denunciavam os sinais de falência de modelo societário, a educação vem sendo apresentada como um dos instrumentos necessários para o enfrentamento da crise.

Considerando-se pertinente tais preocupações, aqui busca-se discutir a necessidade de que os cursos de graduação em Química do país, tanto na modalidade bacharelado quanto licenciatura plena, objetivem uma visão integrada da Química em relação aos cuidados com o ambiente. Dado os mais de 30 anos de avanços na QV, ela tem muito mais do que os 12P para contribuir com a formação do químico. Uma inserção curricular que seja transversal e não apenas pontual, que perpassa a graduação até os programas de pós-graduação (MARQUES e MACHADO, 2018).

No Brasil, desde meados dos anos 2000, tem havido a promoção da QV por meio de eventos em várias instituições de ensino, associações profissionais, de pesquisa e em algumas empresas. Várias publicações de livros e ainda a realização de eventos, como a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20) em 2012 (ZUIN, 2013), tem expressado o envolvimento da Química com soluções ambientais. De acordo com Zuin (2013), a QV se torna cada vez mais presente nos programas de pós-graduação em Química do Brasil, destacando a preocupação que coordenadores/pesquisadores têm com a formação dos alunos e de docentes com esse novo campo da Química (a QV), afirmando que as futuras contratações de docentes e técnicos deveriam valorizar a sua presença nos currículos dos profissionais. Zuin

(2013) destaca também que existe uma dificuldade de se encontrar profissionais cujas pesquisas estejam diretamente relacionadas à QV, o que demonstraria um esforço maior para que seus fundamentos se façam presentes nas estruturas curriculares já desde a graduação.

Observa-se assim que, apesar dos esforços e evidências de que a QV deva compor os currículos nos cursos superiores de Química do Brasil, a sua disseminação ainda é muito incipiente, sendo pouco presente tanto em cursos de graduação quanto de pós-graduação e na formação de professores (ANTONIN *et al.*, 2011; MARQUES *et al.*, 2013; ROLOFF, 2016). De outra parte, Zuin (2011) alerta ainda para o fato de que apenas o “esverdeamento” do currículo não é capaz de garantir uma formação sólida e possibilitadora de enfrentamento da crise ambiental, sugerindo que a inserção de um componente curricular sobre QV poderia contribuir para o reducionismo e simplificação da QV. Sandri (2016) alerta para a necessidade de que a inserção da QV seja transversal, permeando o currículo por meio de diferentes disciplinas e práticas, promovendo caráter teórico e prático, de forma crítica, problematizada e contextualizada. Com base nisso, compreende-se que a inserção da QV na formação dos profissionais da Química colabora para a ambientalização do currículo, traçando uma nova perspectiva nas relações dos químicos com o ambiente, em suas dimensões ecológicas e sociais.

Corroborando o que foi dito anteriormente, o *Specialized Manual on Green and Sustainable Chemistry Education and Learning* do *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2023) sustenta que é urgente a transição para uma química verde e sustentável, e a educação tem papel fundamental nesse momento em que a Terra enfrenta uma tripla crise planetária (alterações climáticas, perda da biodiversidade e poluição). O manual enfatiza que o atual ensino de química é realizado fora de contexto e omite tópicos importantes relacionados à sustentabilidade. Ainda discute a importância de que todos os segmentos da sociedade sejam alvo de iniciativas verdes e de uma educação química sustentável. Porém, este manual também salienta que existem dois problemas para que as mudanças sejam significativas e duradouras no panorama da educação em química: a necessidade de uma reforma curricular e o desenvolvimento das capacidades dos professores (UNEP, 2023).

Com o objetivo de apresentar ao leitor alguns fundamentos teóricos que embasam este trabalho, apresentaremos algumas definições e reflexões. O primeiro conceito que gostaríamos de tratar é o de currículo. Apesar de haver diversos autores que discutem sobre o assunto, apresentamos aqui nossa concordância com Sacristán (2013) em vários aspectos, como quando ele diz que “o currículo desempenha uma função dupla - organizadora e ao mesmo tempo

unificadora – do ensinar e do aprender [...]” (SACRISTÁN, 2013, p. 17). Entre outras questões, Sacristán (2013) argumenta que o currículo nunca é neutro, pois ele desempenha uma intenção de quem o organiza, há de se considerar o contexto social e político em que o currículo é desenvolvido e implementado, sendo moldado por forças sociais, culturais e políticas. Isso significa que um currículo é desenvolvido de acordo com contextos particulares de cada instituição e, dessa forma leva-se em consideração o currículo oficial e o currículo oculto, ou seja, o currículo oficial que se refere aos objetivos, conteúdos, métodos e avaliações que são prescritos formalmente pelos sistemas educacionais. Por outro lado, o currículo oculto inclui as mensagens, valores, atitudes e comportamentos que são transmitidos de forma implícita no ambiente escolar, mas que não são formalmente incluídos no currículo oficial (SACRISTÁN, 2013). Assim, entende-se que tanto o currículo oculto quanto o currículo oficial se complementam, sendo importante considerar este aspecto.

Outro conceito relevante a se destacar é que concordamos com a definição utilizada por Sjöström (2013) de Didaktik, que diz respeito ao processo analítico de transposição do conhecimento humano como conhecimento de domínio específico em conhecimento para a escolarização. Na tradição alemã, Didaktik pode ser vista como arte, filosofia e ciência do ensino e da aprendizagem (SJÖSTRÖM; TYSON, 2022) que fundamentalmente se preocupa com questões do *What* (que) conteúdo é importante de se aprender, *Why* (por que) e *How* (como) isso deve ser ensinado. Ou seja, Didaktik se concentra em como o ensino pode ser organizado e planejado para atingir objetivos educacionais específicos, enfatizando a importância de considerar as necessidades individuais e a participação ativa dos alunos no processo de aprendizagem. De certa maneira, o conceito de Didaktik engloba o currículo (que se refere ao porquê e o que ensinar), a pedagogia (que se refere a como o sujeito aprende e quando aprende) e o que normalmente, na nossa tradição, entende-se por didática (que se refere ao como ensinar). Assim, ao utilizar esse conceito, compreendemos que os modelos Didaktik podem ser usados tanto na concepção, implementação e análise do currículo quanto como para uma reflexão crítica sobre diferentes abordagens educacionais, fornecendo novas perspectivas e percepções sobre ideias e práticas educacionais.

Diante desse cenário, que perpassa aspectos como: 1) a presença das racionalidades instrumental e crítica; 2) as compreensões dos princípios da QV e sua aplicação nos âmbitos do ensino e da indústria; 3) a possibilidade de avaliação e discussão dos processos químicos baseados em diferentes métricas; 4) o entendimento sobre os limites e possibilidades da QV diante do desafio da sustentabilidade ambiental, considerando os limites impostos pela

termodinâmica; e, finalmente, 5) diante ao apelo para que a QV faça efetivamente parte da formação dos profissionais da Química (em seus diversos campos de atuação), aqui evoca-se a necessidade de se buscar entender como (e se) isso tem sido propagado e estado presente nos cursos de química de instituições de ensino superior brasileiras.

Tudo isso nos faz considerar como hipótese de estudo e de pesquisa que a inserção ou a presença da QV nos currículos de instituições universitárias brasileiras é ainda incipiente, mas em crescimento, sendo necessária uma discussão sobre seus aspectos metodológicos, tais como seus conteúdos, perfil de sujeito a ser formado e relações com o contexto atual da sustentabilidade.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

É nesse contexto que se apresenta a seguinte questão de pesquisa: *“Que características curriculares e didáticas vêm configurando a inserção da Química Verde em cursos de graduação em Química em universidades públicas brasileiras?”*

### 1.1.1 Questões complementares

Além da questão principal de pesquisa, outras 2 questões complementares também nortearão as investigações, o estudo e a escrita da tese. São elas:

**Q1** - Que potencialidades e limites são atribuídos à QV para o enfrentamento da crise ambiental e busca da sustentabilidade?

**Q2** - Que aspectos relacionais são atribuídos à QV e à educação ambiental na formação do químico que podem ser inferidos nas diretrizes e documentos oficiais que orientam os currículos dos cursos de Química do país?

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Analisar e problematizar características de inserções curriculares e didáticas voltadas à inclusão da Química Verde em disciplinas de Cursos de Graduação em Química no Brasil de Universidades públicas brasileiras.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

1. Discutir a importância da QV para o enfrentamento da crise ambiental e busca da sustentabilidade.

2. Analisar e discutir como a educação ambiental e a QV têm sido relacionadas e discutidas nas diretrizes e documentos oficiais que orientam os currículos dos cursos de Química no país, destacando os aspectos didáticos relativos ao perfil de sujeito, conteúdos e metodologias que podem ser inferidos a partir desses documentos.
3. Apontar elementos a um possível quadro teórico-metodológico para o ensino da QV voltado à sustentabilidade ambiental.

Com base nessas questões e objetivos buscamos argumentar que, diante de um cenário de crise ambiental, a não presença ou a presença em um tipo de formato dos currículos, mostra que a Química não está num compasso que responda a uma demanda e urgência social e mundial de auxiliar a entender a dimensão do problema da crise ambiental e a mudar suas práticas.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DA TESE

No **capítulo 2** serão explanados os conteúdos de QV que são propostos quando se pretende ensinar QV, dessa forma será apresentado um panorama da QV, abrangendo seu histórico e tendências atuais da área, em especial informações sobre a QV no Brasil. Serão discutidos os desafios atuais da QV, principalmente suas relações com a sustentabilidade e suas limitações, e a importância das métricas para a QV.

No **capítulo 3** serão discutidos aspectos relacionados à importância da QV e seu ensino, por meio da apresentação das diferentes maneiras de como esta vem sendo promovida nos currículos das instituições e cursos de graduação pelo mundo. Também será discutida sua implementação de acordo com os documentos oficiais brasileiros (diretrizes e parâmetros nacionais), abordando quais as discussões presentes sobre a dimensão ambiental nestes documentos e como estas são orientadas a serem abordadas nos currículos dos cursos de graduação em Química. O objetivo deste capítulo é responder os questionamentos sobre a importância de se ensinar QV para os químicos, qual o estado do ensino da QV na formação do químico e como (e se) tem sido inserida.

No **capítulo 4**, serão descritos os aspectos metodológicos da pesquisa, com apresentação dos dados coletados por meio dos planos de ensino/ementas das disciplinas, abordando e apresentando o corpus amostral de análise e serão apresentadas as análises das categorias.

E, por fim, nas **considerações finais** apresentamos uma reflexão geral da pesquisa, dialogando com nosso problema e questões de pesquisa e os objetivos geral e específicos.

## 2 ASPECTOS GERAIS E CONTEÚDOS DE QUÍMICA VERDE

Neste capítulo serão apresentados os conteúdos de QV propostos para o seu contexto de ensino. Desta maneira, será delineado um panorama abrangente da QV, incluindo sua trajetória histórica e as tendências atuais da área, com foco nas informações pertinentes à QV no contexto brasileiro. Os 12 princípios da QV são explorados e exemplificados com situações reais em contextos industriais e acadêmicos. Serão examinados os desafios atuais enfrentados pela QV, com ênfase nas suas interações com a sustentabilidade e nas limitações identificadas, além de destacar a relevância das métricas associadas à QV.

Deve-se deixar claro que estes não são todos os conteúdos existentes sobre QV, porém são tidos como os principais por serem aqueles que mais aparecem em pesquisas sobre o tema, o que pode ser constatado em um trabalho sobre os temas e tipologias de estudo sobre o ensino da QV, onde Marcelino e Marques (2023) buscam traçar um panorama relacionado aos conteúdos, objetivos ou estratégias de ensino frequentes em QV. Para isso, os autores analisam mais de 1200 trabalhos por meio da análise de acoplamento bibliográfico, e como resultado, cinco temas de pesquisa se destacaram: pensamento sistêmico, educação QV para sustentabilidade, sínteses orgânicas verdes, métricas e inserção da QV no ensino.

Os autores dividem os tipos de pesquisas em duas naturezas: instrumentalizante e metacientífica. As pesquisas ditas como instrumentalizantes tem como foco a aplicação de métodos e abordagens verdes no contexto de ambientes laboratoriais específicos, e este enfoque é definido pelo seu caráter instrumental, pois visa promover recursos tanto para professores quanto para alunos realizarem QV e implementarem a mesma em atividades de ensino. Esta característica está presente nas pesquisas intituladas como sínteses orgânicas verdes. Já os estudos metacientíficos propuseram uma abordagem mais reflexiva em relação ao ensino da QV, pois trata-se de um tipo de pesquisa que promove uma reflexão sobre a natureza do campo e sua evolução, uma análise crítica da própria QV. Isso é evidenciado nas pesquisas sobre métricas, educação para a sustentabilidade e pensamento sistêmico, onde se propõem finalidades socialmente justificadas para a pesquisa e ensino da QV (MARCELINO; MARQUES, 2023).

Considerando isto, serão apresentados a seguir os conteúdos considerados como os mínimos necessários quando se pretende o ensino da QV.

### 2.1 BREVE HISTÓRICO DA QUÍMICA VERDE: DA CRISE AMBIENTAL À EMERSÃO DA QV - UMA VISÃO GERAL

As discussões acerca dos problemas ambientais, dos impactos e consequências que estes ocasionam no ambiente, na saúde humana e na manutenção dos recursos naturais do nosso planeta entraram em pauta e se tornaram mais relevantes a partir da década de 1950, em que o marco dessas discussões foi a publicação do livro “Primavera Silenciosa”, de autoria da bióloga americana Rachel Carson. Nesse livro, a autora alerta sobre o uso inadequado e desenfreado dos agrotóxicos, particularmente o DDT, e as graves consequências ao ser humano e ao meio ambiente (CARSON, 1962). Além de apresentar resultados negativos de avaliação de riscos quanto ao uso dos agrotóxicos, o livro de Carson assevera que algumas vezes o que se apresenta como um benefício das atividades da ciência e tecnologia pode, posteriormente, ser a fonte de produção de novos problemas e/ou de efeitos colaterais não intencionais, ou não observados anteriormente, e que por isso não foram freados, porém se revelaram como problemas ambientais reais (SOUZA, 2016).

Com o aumento e fortalecimento dessas discussões, houve a realização de uma série de eventos que tiveram como finalidade unir os esforços e tomar medidas com os mesmos objetivos de minimizar (ou, na melhor das hipóteses, reverter) os danos já causados ao meio ambiente, destacando-se aqueles problemas ocasionados diretamente pela ação humana.

Todos estes eventos, protocolos e iniciativas ambientais criados nos mais diversos países, sendo impulsionados por fatores econômicos, políticos, sociais, ambientais e científicos, deram força para a criação do que conhecemos atualmente como QV. Como fator de impulso a esse movimento, Machado (2011) destaca que em 1990 foi instituída uma lei nos EUA, chamada Ato de Prevenção da Poluição (P2), a qual visou à redução da quantidade de poluentes e resíduos gerados por processos industriais, em geral. Isso acabou por gerar uma mudança de paradigma de gestão ambiental na indústria. Em consonância com essa lei foram integradas atividades de minimização de resíduos, surgidas de maneira específica à indústria química, com foco no problema dos resíduos produzidos nos processos. Segundo Machado (2011), essa estratégia incluía ações como reciclagem no interior do processo e a recuperação e tratamento seguro dos resíduos gerados, quer fossem sólidos ou líquidos.

Paralelamente, ocorreram iniciativas para implantar processos mais seguros tanto no desenvolvimento quanto no fabrico dos produtos, mudando o paradigma na abordagem de segurança da indústria química, saindo de uma postura reativa para uma pró-ativa. Essa busca foi incitada por uma pressão da sociedade preocupada com perigos e danos após a ocorrência de graves acidentes na indústria química (MACHADO, 2011). Concomitantemente, houve a

origem de um programa chamado Atuação Responsável, surgido no Canadá e estendido para os EUA, em resposta ao acidente de Bhopal em 1984, considerado o maior acidente industrial de todos os tempos, sendo, até hoje, um local onde a população enfrenta problemas de saúde e consequências dessa catástrofe na região. De acordo com Machado (2011), esse programa, que surgiu de forma voluntária na indústria química, teve como objetivo melhorar a atuação da química no que diz respeito à saúde humana, segurança e meio ambiente.

Outro movimento que impulsionou a origem da QV foi o *Design* para o Ambiente (ou *Design for Environment*), o qual representa o desenho de produtos e processos com o objetivo de impactar minimamente o ambiente, objetivando a descoberta e fabricação de produtos químicos que sejam recicláveis, não tóxicos, que sejam obtidos a partir de reagente de origem renovável, dentre outros. Ainda, houve o surgimento da Ecologia Industrial, um movimento surgido no final da década de 80, que propõe e possibilita a utilização mais eficiente dos materiais, com menores impactos ambientais (MACHADO, 2011).

Assim, conforme descrito acima, pode-se dizer que foram muitas ações, movimentos e programas que suscitaram o surgimento da QV no contexto americano. Isso influenciou também o surgimento de outros programas na Europa e nos Estados Unidos que incentivaram práticas verdes na Química, mais especificamente nas áreas de síntese, catálise e processos mais seguros, como descrito por Lenardão *et al.* (2011).

No início da década de 90, segundo Lenardão (2003), a *Environmental Protection Agency* (EPA) criou um projeto de pesquisa denominado “Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição”. A EPA possuía preocupações em desenvolver metodologias que tivessem como objetivo a prevenção da geração de produtos nocivos ou tóxicos e, em 1993, com a expansão desse projeto, há o surgimento da denominação QV (ANASTAS; KIRCHHOFF, 2002). Ainda no ano de 1993, na Itália, estabeleceu-se o Consórcio Universitário Química para o Ambiente (INCA), cujo objetivo foi o de reunir pesquisadores comprometidos com as questões químicas e ambientais, difundindo os princípios relacionados a uma química mais limpa e ambientalmente correta (CÔRREA; ZUIN, 2009).

Em 1995, por iniciativa do governo dos EUA, foi instituído o Prêmio *The Presidential Green Chemistry Challenge* (PGCC), cujo objetivo era o reconhecimento e legitimação de pesquisas e práticas inovativas voltadas à indústria, com a finalidade de reduzir a produção de resíduos direto na fonte (LENARDÃO *et al.*, 2003). No ano de 1997 houve a criação do *Green Chemistry Institute* (GCI), que mais tarde, constituiu parceria com a *American Chemical Society*

(ACS). Nesse mesmo ano, a *International Union for Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) admitiu a importância e relevância da QV, aprovando a criação de um Subcomitê Interdivisional em QV, possibilitando diversas conferências internacionais de QV pelo mundo, além de premiar pesquisadores e editar, em 2004, o livro *Química Verde en Latinoamérica*, o qual compõe uma série de textos *Green Chemistry* da IUPAC/INCA (CÔRREA; ZUIN, 2009).

Em um artigo onde discute a QV desde seu surgimento, Machado (2011) destaca que a QV surgiu como uma resposta aos problemas que a Química/Química Industrial sentia há tempos quanto à questão da produção de resíduos. A partir desse surgimento, estabelecia-se um conceito mais abrangente, que por meio de seus 12 princípios básicos sistematizou vários conceitos anteriores. Nesse período, então, é criada por Paul Anastas e John Warner (1998) uma definição do que seria a QV, sendo essa traduzida por Lenardão *et al.* (2003, p. 124) como: “A invenção, desenvolvimento e aplicação de produtos químicos e processos, para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias perigosas à saúde humana e ao meio ambiente.” Foi nesse contexto que se criou um consenso sobre os princípios básicos da QV, propostos também por Anastas e Warner, denominados como os 12 Princípios da QV, voltados à sua implementação na indústria e/ou instituições de ensino e pesquisa.

Mesmo com a criação de diversas frentes de divulgação e difusão da QV, Machado (2008a) observa que houve certa resistência no uso do termo QV na literatura científica e também educacional, sendo que o termo começou a ser utilizado de maneira informal, e o autor presume que isso ocorreu por conta da conotação política que a palavra “verde” tinha em diversos países, pois de certa forma estava ligada aos primeiros ambientalistas, que perseguiram uma conservação do ambiente a todo custo, a despeito da repercussão que isso poderia ter na economia e na sociedade.

O autor também apresenta dados relacionados ao termo QV e sua aparição em revistas científicas mostrando que a primeira vez que o termo apareceu nesse contexto foi no título de um comentário publicado na revista *Science*, no ano de 1993 e, em revistas de cunho educacional, apareceu no título de uma publicação no *Journal of Chemical Education* (JCEd) no ano de 1995. O uso do termo só se tornou mais frequente quando ocorreu o lançamento do periódico *Green Chemistry*, em 1999, pela *Royal Society of Chemistry* (RSC) e, de acordo com suas buscas, Machado (2008a) afirma que o termo QV começou a realmente ser aceito e considerado pela comunidade científica e educacional a partir do ano 2000. Já Farias e Fávaro (2011), em seu artigo onde apresentam um panorama sobre as publicações em QV entre os anos

de 1991 à 2010, declaram que houve um aumento significativo de publicações relativas à QV, sendo divididas entre muitas áreas da química, referindo-se como as mais representativas das áreas de síntese e catálise. Porém, apesar de encontrarem mais de 250 mil publicações em periódicos que de alguma forma citavam a expressão *Green Chemistry* ou Química Verde, no período pesquisado não havia nenhum trabalho relacionado ao ensino de Química, o que de certa forma reflete as mudanças observadas no ensino da QV atualmente.

Em sua pesquisa sobre os 25 anos da QV, Marques e Machado (2021) relatam as diferentes fases da QV e o que mudou (ou não) em cada uma delas. Um dos aspectos destacados pelos autores é em relação à evolução sobre os entendimentos dos 12P que, em uma fase inicial, eram tratados individualmente e, no decorrer das fases da QV, foi adquirindo novos significados e o reconhecimento dos próprios proponentes de que estes deveriam ser usados de forma coesa, como um sistema, permitindo que houvesse contribuições simultâneas de todos eles para obter uma melhor verdura química, ou seja, quão verde são os processos e reações analisados. Assim, Anastas (2011) reafirmou a importância de que a abordagem e uso dos 12P seja holística. Os autores também destacam as diferentes visões dos próprios proponentes da QV sobre a natureza da inovação em QV, que transcorreu de incremental para transformativa, ou seja, partiu de inovações aplicadas a pequenos incrementos relacionados à eficiência e redução de toxicidade, por exemplo, para inovações que considerem o sistema de forma holística para proporcionar avanços transformadores.

Outro aspecto que merece destaque, segundo Marques e Machado (2021), é em relação às métricas de verdura que, apesar de haver menções à importância das métricas e sua crescente aplicação, ocorre que seu uso ainda não é generalizado, o que indica que avaliar o quão verde é uma reação ou prática ainda não é uma prioridade para a maioria dos químicos, o que pode ser um reflexo de seu histórico de cálculos tradicionais como rendimento e seletividade. Por outro lado, é necessário que haja prudência nas generalizações de quão verde um processo é, pois as diferentes conexões da QV com outras áreas aumentam a complexidade da prática de Química exigindo que as avaliações sejam múltiplas e ocorram em paralelo como: avaliações do ciclo de vida, desenho molecular, benignidade/toxicidade e prevenção etc. Ou seja, as métricas continuam sendo um desafio importante para a QV.

## 2.2 A PRESENÇA DA QUÍMICA VERDE NO BRASIL: BREVE HISTÓRICO

A QV começou a ganhar destaque no Brasil durante a Conferência da ONU sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92), realizada no Rio de Janeiro há mais de três

décadas. Este evento teve uma ampla cobertura midiática, mobilizando organizações não governamentais e gerando um impacto significativo tanto no âmbito nacional quanto internacional. Reconhecendo a importância desse acontecimento, a comunidade científica brasileira iniciou rapidamente estudos focados na conservação da biodiversidade e no desenvolvimento de novos materiais nos anos que se seguiram (SEIDL, 2022).

Em 2004, Fatibello Filho iniciou palestras sobre Química Limpa em eventos como o Encontro Nacional de Ensino de Química e o Encontro Nacional de Química Analítica. No ano seguinte, na I Semana da Química na UFSCar, foi ministrado um curso sobre Metodologias Analíticas Limpas por Fatibello Filho e Marcolino Junior, introduzindo os conceitos históricos e procedimentos analíticos limpos (FATIBELLO FILHO; MARCOLINO JUNIOR, 2005).

No Brasil a divulgação da QV se deu principalmente por expor os seus 12 princípios (LENARDÃO *et al.*, 2003), sendo que os conceitos de QV passaram a ser anunciados em torno do ano de 2006, simultaneamente nos meios acadêmico, governamental e industrial. Nesse mesmo ano, a 26ª Escola de Verão promovida pela Universidade Federal de São Carlos teve a QV como tema em cursos sobre Engenharia Metabólica, Síntese e Biotransformação (UFSCar, 2006). No mesmo ano, ocorreu a I Escola de Verão em Química Verde no Instituto de Química da USP, organizada pelo Grupo de Pesquisa em Química Verde e Ambiental (GPQVA), com o objetivo de fornecer uma visão geral da Química Verde para estudantes de graduação.

No ano de 2007, ocorreu o primeiro Workshop Brasileiro sobre QV na cidade de Fortaleza, que contou com a participação de 31 instituições de nove estados brasileiros. Nesse evento foi anunciada a instalação da Rede Brasileira de Química Verde (RBQV), com o objetivo de dar apoio à comunidade científica e às agências governamentais (CORRÊA; ZUIN, 2012). De imediato, a Petrobras manifestou seu apoio à proposta, dado seu envolvimento no desenvolvimento de tecnologias para as cadeias de produção de biocombustíveis, assim como a Finep, que se dedicava ao financiamento de projetos de pesquisa e desenvolvimento, além de fomentar parcerias entre instituições acadêmicas e corporações (SEIDL, 2022).

A RBQV, segundo afirmam Corrêa e Zuin (2012), almeja ser um elemento institucional de promoção das inovações tecnológicas para as empresas nacionais, contando com o apoio da comunidade científica e com o suporte de agências governamentais. Tendo isso como objetivo, houve a elaboração e posterior publicação do livro “Química Verde no Brasil: 2010-2030”, realizado com o apoio do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) e também do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. São definidos nesta obra temas prioritários

(sendo elencados como temas: biorrefinarias pelas rotas bioquímica e termoquímica, álcoolquímica, oleoquímica, sucroquímica, conversão de CO<sub>2</sub>, fitoquímica, bioprodutos, bioprocessos, biocombustíveis e energias renováveis) que precisam ser contemplados na agenda brasileira, além disso são temas nos quais os pressupostos da QV podem contribuir de forma significativa (CGEE, 2010). Mas, mesmo com essas ações, o próprio CGEE (2010) afirma que a concretização da QV na base da produção brasileira somente acontecerá se houver fortalecimento da educação em QV em todos os níveis (educação básica, ensino superior e formação industrial), aspectos que discutiremos no Capítulo 3.

Conforme documentado no relatório da CGEE (CGEE, 2010), a concepção difundida pela Escola Brasileira de Química Verde (EBQV) foi de diálogos envolvendo o meio acadêmico e empresarial no final de 2010. Inicialmente acolhida pelo Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da UFRJ, a primeira iniciativa da EBQV foi impulsionada pelas ações da Abiquim, para potencializar a competitividade da indústria química por meio das vantagens naturais do Brasil, como as biorrefinarias de cana, materiais celulósicos e amido. Nesse ínterim, o interesse da Embrapa também se destacou, culminando no primeiro evento da EBQV ao término de 2010. Para manter-se atualizada, a EBQV realiza consultas à especialistas em diversos ramos da Química Verde e promove debates sobre temas específicos em seus encontros e cursos oferecidos em diferentes níveis (SEIDL, 2022).

O primeiro encontro da EBQV aconteceu em 2011, e o objetivo principal foi promover a integração entre a academia e as empresas. Embora centros de pesquisa já estivessem colaborando com a indústria, essa parceria nem sempre era clara na universidade. Era crucial que a comunidade acadêmica compreendesse melhor os interesses e necessidades das empresas, enquanto estas precisavam entender a natureza da pesquisa científica, que muitas vezes demanda prazos mais longos e apresenta resultados incertos. As reuniões anuais subsequentes têm seguido essa abordagem, buscando identificar interesses comuns, gerar ideias e introduzir temas que atendam às necessidades tecnológicas da indústria. Recentemente, esses encontros têm abordado questões específicas, como catálise e conversão de biomassa lignocelulósica, desenvolvimento de novos processos para transformação de óleos vegetais, etanol e glicerina, além de discutir temas relacionados à sustentabilidade, álcoolquímica e uso de solventes verdes (INOVATIVA, 2016). Também em 2011, estudantes do Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ) criaram o blog "Química Sustentável", premiado em concursos da Sociedade Brasileira de Química (SBQ) e do *Green Nation Fest*, por destacar contribuições positivas da química para o desenvolvimento sustentável.

Em 2012, a SBQ lançou o concurso "O legado da RIO +20: que futuro queremos?", incentivando projetos sobre a importância da Química para a sustentabilidade em diferentes níveis de ensino (SBQ, 2012). No mesmo ano, o Brasil sediou a 4ª Conferência Internacional da IUPAC sobre Química Verde (4ª ICGC) em Foz do Iguaçu, e o Simpósio *ChemComm Brazil* sobre Química e Energia Sustentável no Rio de Janeiro, eventos importantes para a Química Verde no país (IUPAC, 2012). Esses eventos e iniciativas acadêmicas tornaram-se mais frequentes e amplamente difundidos em todo o Brasil (CORRÊA *et al.*, 2013).

Em pesquisa realizada por Dias (2016), a autora afirma que um espaço para a difusão da QV no país são as Reuniões Anuais da Sociedade Brasileira de Química (RASBQ), pois esse evento oportuniza o encontro de toda a comunidade de químicos do país das diferentes subáreas da Química, onde é possível ter espaço de discussão e divulgação de pesquisas. Um fato a ser destacado é que no ano de 2014, pela primeira vez a Sociedade Brasileira de Química organizou uma seção específica para trabalhos de QV na RASBQ, o que antes ocorria de forma difusa por todas as divisões já existentes no evento. Esse fato permitiu à comunidade conhecer e dialogar sobre os trabalhos específicos sobre QV.

Ao realizar um levantamento entre o período que compreende os anos de 2002 a 2013, Dias (2016) mostra que, no total, foram publicados 83 trabalhos sobre QV nas RASBQ, sendo que apenas no ano de 2014 tem-se 51 trabalhos publicados, o que já reforça a relevância do espaço conquistado. As pesquisas realizadas por essa autora também destacam e reforçam a importância já sinalizada anteriormente em relação aos profissionais formadores, que estes tenham também formação em QV e isso se realiza ao observarmos um dos resultados dessa pesquisa, que é o fato de a maioria dos autores dos trabalhos publicados na seção de QV da 37ª RASBQ serem professores pesquisadores vinculados a instituições de ensino superior e que, em grande parte, fazem parte de grupos de pesquisa com temas voltados às questões ambientais, ou seja, são também os professores orientadores de alunos de iniciação científica e pós-graduação, o que com certeza auxilia no ensino, divulgação e fortalecimento da QV (DIAS, 2016).

Porém, ao analisar os 51 trabalhos publicados nessa seção pioneira da RASBQ, Dias (2016) traz algumas reflexões sobre o que e como se tem discutido e aplicado a QV nesses trabalhos. A primeira reflexão diz respeito à forma como os autores afirmam e justificam que seus trabalhos são sobre QV, apoiando-se em apresentar alguns ou todos os 12P da QV em suas práticas. Apesar de haver alguns autores que superam esse simplismo, na maioria dos trabalhos

não há uma problematização sobre “causas e razões para o desenvolvimento de uma determinada técnica, basta apenas que a mesma resolva de forma eficiente o problema observado” (DIAS, 2016, p. 123), resultando em uma concepção reducionista de QV e é um exemplo de uso instrumental da mesma. Esta concepção reducionista fica evidente em uma segunda reflexão da autora, quando destaca que, para alguns dos autores dos trabalhos analisados, a QV é única e exclusivamente vantajosa, sendo apresentada com uma visão salvacionista, o que claramente exclui qualquer discussão sobre as limitações e desafios da QV apresentados pela autora (DIAS, 2016). Dias (2016) relata ainda que dentre todos os trabalhos analisados, apenas dois apresentaram aspectos relacionados ao seu ensino, em um deles sendo ainda de modo muito sutil. A autora conclui que:

“(…) existe, em vários aspectos da implementação da QV, uma espécie de “cortina de fumaça”, a qual “encobre” partes do discurso verde dos químicos, fazendo com que os entendimentos sobre QV sejam de certa forma confusos dentro da própria comunidade dos químicos. Talvez esses aspectos dificultem ainda mais sua adoção entre todos os químicos. Dificulta ainda, em nosso modo de ver, para que não haja unidade no modo de proceder com suas práticas e nas divulgações de seus resultados. Mas, fundamentalmente, dificulta as justificativas sobre a necessidade de uma evolução da Química em direção à prevenção ambiental. Estas diferentes interpretações sobre as razões da QV resultam em obstáculos que vão sendo criados e propagados, dificultando inclusive sua disseminação no ensino e na formação dos químicos.” (DIAS, 2016, p. 131).

Por meio desse breve relato, nota-se que, houve um significativo intervalo de tempo entre a criação da QV no contexto estadunidense e sua chegada ao Brasil. Segundo Sandri (2016), é notável que as tentativas de incorporação dos pressupostos da QV são crescentes em nosso país e é possível notar isso devido ao surgimento de grupos de pesquisa destinados a investigações no campo da QV, bem como pelas oportunidades oferecidas de inclusão nos planejamentos de desenvolvimento sustentável governamentais do país. Em contrapartida, Sandri (2016) aponta preocupações com a inserção do ensino da QV:

“Contudo, ao avaliarmos o âmbito educacional, percebemos a incipiência de grupos de pesquisa e trabalhos acadêmicos dedicados a avaliar, propor e inserir a QV nos currículos e na prática da sala de aula, nos diferentes níveis educacionais, o que, a nosso ver dificulta o encaminhamento dos profissionais da Química em direção aos desafios da sustentabilidade.” (SANDRI, 2016, p. 103).

Marques *et al.* (2013), realizaram uma investigação com pesquisadores 1A do CNPq sobre QV e a ideia dos mesmos sobre sustentabilidade, e concluíram que 57% dos pesquisadores parecem reconhecer os limites impostos ao alcance da sustentabilidade ambiental, apesar de exprimirem divergentes compreensões sobre a necessidade de um novo paradigma (o qual os autores denominam de ambiental) para o enfrentamento desse desafio. Diante disso, os autores afirmam que as visões apresentadas pelos pesquisadores necessitam ser problematizadas, no

que diz respeito à complexidade dos sistemas ambientais e o desenvolvimento de práticas de QV.

Algumas pesquisas recentes buscam retratar o cenário brasileiro em relação ao ensino da QV, como o trabalho de Almeida *et al.* (2019) onde os autores investigam cursos de licenciatura e a presença de disciplinas de QV nestas instituições. Como parte das conclusões, os autores apresentam uma figura com as regiões do Brasil mostrando dentre a totalidade de instituições de cada região, quais ofertam e quais não ofertam disciplinas em QV nos cursos pesquisados. Fica evidente a escassez da oferta de disciplinas, pois a figura mostra que na região sul 4% das IES ofertam disciplinas voltadas à QV, seguidas da região nordeste que apresenta 3% de suas instituições ofertando disciplinas em QV. Quantitativamente os dados se tornam mais significativos apenas na região sudeste, que conta com 29% da totalidade das IES ofertando disciplinas de QV para cursos de licenciatura em Química. Para as regiões norte e centro-oeste o valor é menor que 1%.

Em outra pesquisa, Gomes *et al.* (2022) mostram o cenário de inserção da QV nos cursos de licenciatura apenas dos institutos federais, onde apenas 20% do total de documentos encontrados e analisados possuem a presença da expressão QV. Porém, a oferta de Química Ambiental é bem disseminada, na maior parte das vezes como disciplina obrigatória. Esses relatos retratam que o ensino da QV nas instituições brasileiras ainda precisa percorrer um longo caminho, apesar de haver diversos exemplos de sucesso na literatura estrangeira que podem servir como inspiração e base para esse avanço.

Em pesquisa mais recente, Vaz, Giroto Junior e Pastre (2024) realizaram uma análise sobre se e como as instituições de ensino superior brasileiras estão trabalhando disciplinas relacionadas à QV. Foram consideradas todas as instituições de ensino que mantêm cursos de Química, e como resultados perceberam que esse tema está mais presente em instituições públicas, sendo a maioria delas localizadas na região sudeste (aproximadamente 48%) e a forma de abordagem é, em sua maioria, por meio de disciplinas eletivas e teóricas, mas principalmente, voltadas à cursos de pós-graduação e de formação de professores. Uma observação feita pelos autores é em relação ao baixo número de propostas com inserções de QV em cursos de bacharelado e/ou àqueles voltados à atuação dos profissionais nos setores industriais.

Além das ações das instituições locais, se fazem presentes em algumas IES brasileiras a atuação da *Beyond Benign*, que é uma organização sem fins lucrativos dedicada a promover

a Química Verde na educação e na indústria. Fundada em 2007 por John Warner, um dos pioneiros na área da QV, a *Beyond Benign* busca transformar a maneira como a química é ensinada e praticada, promovendo princípios de sustentabilidade, segurança e responsabilidade ambiental. A importância da *Beyond Benign* reside no seu papel crucial em educar e capacitar estudantes, educadores e profissionais da química sobre os princípios e práticas da QV. Através de programas de educação, treinamento e recursos, a organização ajuda a disseminar conhecimento sobre métodos de design de produtos químicos mais seguros e ambientalmente benignos, incentivando a próxima geração de cientistas a abraçar a QV em suas carreiras. Além disso, a *Beyond Benign* desempenha um papel significativo na promoção da inovação e colaboração na indústria química, trabalhando em parceria com empresas e instituições para desenvolver soluções sustentáveis e reduzir o impacto ambiental da produção química. Com essas ações, a *Beyond Benign* é uma peça fundamental no avanço da Química Verde, fornecendo educação, recursos e orientação para promover práticas mais seguras, sustentáveis e responsáveis na química, tanto nas salas de aula quanto no mundo real (<https://www.beyondbenign.org/k12/>).

### 2.3 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: DESAFIO E ENGAJAMENTO DA QV

A adesão da QV (ou dos químicos verdes) ao “movimento” em torno da questão da sustentabilidade não foi automática. Segundo Marques e Machado (2021), isso aconteceu gradativamente ao longo dos anos, com o crescimento de ambas acontecendo paralelamente e, conseqüentemente, havendo um aumento na inter-relação entre QV e sustentabilidade. Os autores dizem que “a QV foi progressivamente enquadrada na sustentabilidade” (MARQUES; MACHADO, 2021, p.20), pois dado seu início com base na indústria, mais ligado à produção e rendimento, pouco se envolvia com questões relacionadas ao desenvolvimento sustentável e sustentabilidade, então esse “enquadramento” na sustentabilidade serviu como influência nas formas de pensar e praticar da Química.

Essa dificuldade de adesão às questões da sustentabilidade ocorre, pois, para que haja uma conexão entre QV e sustentabilidade, há a necessidade de incorporação de conhecimentos de outras áreas, tais como engenharia verde, biologia, educação, o que resulta no aumento da complexidade da prática da Química, o que passa a exigir “múltiplas avaliações paralelas em estudos de diferentes tipos: desenho molecular, benignidade/toxicidade e prevenção, destino e efeitos de produtos químicos no meio ambiente, avaliação de ciclo de vida etc.” (MARQUES; MACHADO, 2021, p. 17). Os autores também discutem que a QV tem sido cada vez mais

considerada como uma ciência de apoio à sustentabilidade, o que os leva a destacar as limitações impostas pela Segunda Lei da Termodinâmica, a qual condiciona as soluções para os problemas ambientais (MARQUES; MACHADO, 2014), o que adiciona ainda mais complexidade na busca pelo alcance da sustentabilidade. Algo que não pode ser deixado de lado, pois pode passar a ideia de que a Química pode trazer soluções técnicas e científicas, de modo que podemos continuar usando a natureza sem limites e manter nosso atual modo de vida (MARQUES; MACHADO; 2021).

Todavia, sobre a Química foram impostas as responsabilidades pelos problemas ambientais do final do século passado. Isso é de fácil constatação, bastando olhar o Relatório Brundtland (1987), onde dois capítulos descrevem as responsabilidades da Química. Marques e Machado (2013) explicam que o papel da Química nessas situações se deve a dois motivos principais: o primeiro é em relação à contribuição das ações desenvolvidas e praticadas pela Química industrial no século XX, quando ocorreu uma imensa dispersão de poluentes e deposição de resíduos tóxicos. O segundo diz respeito à diversidade e centralidade da Química na produção e manutenção de nossa qualidade de vida, o que reflete em praticamente todos os produtos que usamos no dia a dia, desde produtos de limpeza doméstica e materiais de construção, até produtos químicos usados na medicina, na agricultura etc. Assim, se entende como natural que a química tenha sido pressionada a buscar inovações em suas práticas, pois apesar de sua imensa contribuição para melhoria da qualidade de vida, produz degradação material e energética em seus processos de síntese, contaminando, na maioria das vezes de modo irreversível, o meio ambiente através da poluição e uso insustentável dos recursos naturais.

Seguindo o objetivo básico do desenvolvimento sustentável, que é apoiar e suprir as necessidades da civilização atual sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das gerações futuras, foram então procurados novos meios e estilos de se praticar a Química. Isso tudo está na gênese das preocupações da sociedade sobre os problemas ambientais e constituíram as pressões que levaram ao surgimento da QV, na década de 90, voltada a novas práticas da Química para que, agindo preventivamente, pudesse trazer benignidade aos seus processos e produtos (MARQUES; MACHADO, 2014).

Mais recentemente, no ano de 2016, Matlin *et al.* (2016) destacam a visão dos químicos em torno da Sustentabilidade Ambiental. Eles elencam uma série de ações que o campo da química precisa adotar quando se busca pela sustentabilidade ambiental, como exigir que:

- as matérias-primas sejam derivadas sem grave esgotamento das reservas naturais;

- que suas manipulações e transformações sejam conduzidas de forma ecologicamente correta e que minimize os danos ambientais ou o impacto ecológico;
- que a preocupação com a reciclagem (sempre que possível) ou a eliminação segura dos produtos residuais e dos próprios produtos no final da sua vida útil sejam tidas em conta desde o início;
- e que a química busque aplicações de seus conhecimentos para superar os grandes desafios contemporâneos da sustentabilidade, como os relacionados a alimentos, água, materiais, energia e meio ambiente.
- Posicionar a química como a “ciência da sustentabilidade” significa que ela precisa começar a enfrentar os desafios globais emergentes e exige que essa ambição seja projetada para um público amplo por meio do envolvimento com o público e com a mídia (MATLIN *et al.*, 2011, p. 396 - tradução nossa).

Por outro lado, quando se considera o termo Sustentabilidade, é necessário reconhecer sua polissemia, dado que diversas definições e compreensões foram e têm sido desenvolvidas em diversos âmbitos de estudos (MARQUES; MACHADO, 2014). Sendo assim, apoiamo-nos na definição de Boff (2012):

Sustentabilidade é toda a ação destinada a manter as condições energéticas, físico-químicas que sustentam todos os seres, especialmente a Terra viva, a comunidade de vida e a vida humana, visando sua continuidade e ainda atender as necessidades da geração presente e das futuras, de tal forma que o capital natural seja mantido e enriquecido em sua capacidade de regeneração, reprodução e coevolução (BOFF, 2012, p. 107).

De acordo com essa definição, Freitas e Marques (2017) discutem “que o termo Sustentabilidade deva ser visto como expressão de um conceito integrativo, complexo, uma espécie de conceito ‘guarda-chuva’.” Considerando que existem várias dimensões para o termo Sustentabilidade, como social, econômica e ambiental, essa analogia representa que todas essas dimensões estão correlacionadas. Indo mais longe na compreensão desse conceito, Boff (2011) discute a possibilidade de destacar diferentes sentidos para os termos, a saber:

[...] como um adjetivo [sustentável] é adicionado a qualquer coisa sem mudar a natureza da coisa; por exemplo, eu posso reduzir a poluição química de uma fábrica colocando filtros em suas chaminés que liberam gases, mas a forma da empresa interagir com a natureza, de onde ela retira a matéria-prima para a produção, não muda; continua a devastar. Sua preocupação não é o ambiente, mas o lucro e a competitividade que têm que ser garantidos. Assim, a sustentabilidade é acomodação e não mudança; é um adjetivo, não substantivo. Sustentabilidade como substantivo exige uma mudança na relação com a natureza, a vida e a Terra. A primeira mudança começa com outra visão da realidade. [...]. Nós não estamos fora e acima dela como um dominador, mas dentro e quem se importa em alavancar seus ativos, respeitando seus limites. [...] (BOFF, 2011, p. 1).

Assim, essas definições nos ajudam a compreender que o uso dos termos está carregado de significados e, conseqüentemente, devem vir aliados a atitudes. As ações, relativas a mudanças em nossos comportamentos e nas compreensões de como nos relacionamos com a

natureza e a vida devem vir, principalmente, de nossa noção de sustentabilidade como substantivo.

Ainda que seja amplamente discutido, poucos são os pesquisadores que levam em consideração que o alcance da sustentabilidade ambiental é algo hipotético, se levarmos em consideração os limites físicos, tanto materiais quanto energéticos, do mundo biofísico (ROLOFF, 2016). Léna (2012) discute essa vertente, destacando o fato de que não é possível que se cresça de maneira infinita em um planeta que é finito, no que diz respeito às limitações materiais e energéticas, e baseado em nosso modo de se relacionar com o ambiente que se dá por processos econômicos insustentáveis. O autor também destaca o fato de que a degradação ambiental tem sido acelerada, de acordo com dados do PIB mundial e emissões de CO<sub>2</sub>, que ele cita como sendo aumentos claramente insustentáveis (LÉNA, 2012).

Apesar de esforços no sentido de se buscar tanto a sustentabilidade quanto o desenvolvimento sustentável, Huesemann (2003) discute que as melhorias tecnológicas não são por si só suficientes para levar à sustentabilidade, apontando quatro razões para essa insuficiência: a primeira se refere à dificuldade de que os sistemas industrial e econômico sejam baseados exclusivamente em recursos renováveis; a segunda diz que, a longo prazo, a sustentabilidade só poderia ser garantida com base em energia obtida direta ou indiretamente do sol; e terceira se relaciona com a limitação da invenção de tecnologias sem consequências indesejáveis, pois, como já brevemente discutido anteriormente, a Segunda Lei da Termodinâmica estabelece que todas as atividades industriais e econômicas têm consequências negativas e que estas são inevitáveis; e, como última razão, o autor diz que as melhorias na ecoeficiência por si só não são garantia da redução dos impactos negativos totais, já que se espera que isso ocorra sob um regime de crescimento econômico contínuo.

Marques *et al.* (2020) detalham que a maneira como o campo da QV foi vinculada aos 12P na forma de uma lista de prescrições individualizadas, de caráter incremental, teve como resultado que os mesmos fossem tratados de forma individual. Isso levou anos para que seus proponentes (Paul Anastas, em particular) compreendessem que os 12P deveriam ser um conjunto articulado, ou seja, serem utilizados como um sistema coeso. Mas pensar e propor os 12P foi fundamental para que, ao serem utilizados na QV, eles pudessem sustentar os aumentos na segurança e na chamada verdura química. Os autores destacam que a demora nessa percepção de que os 12P deveriam ser praticados em conjunto e não individualmente podem ter dificultado a conexão entre QV e sustentabilidade, deixando pouco clara as implicações e responsabilidades com as metas específicas (MARQUES *et al.*, 2020).

Retomando o que foi sinalizado anteriormente, é importante apresentar as discussões em torno das limitações impostas pela Segunda Lei da Termodinâmica (a qual confere um aumento de entropia continuamente na realização de qualquer mudança material, tanto na fabricação de produtos quanto na reciclagem de resíduos) na busca pela sustentabilidade. Marques e Machado (2013) apontam e discutem que apenas os avanços tecnológicos não são suficientes para que se alcance a sustentabilidade ambiental, e isso é corroborado pelos aspectos apresentados acima a partir dos estudos de Huesemann (2003).

## 2.4 OS 12 PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE

Os doze princípios da Química Verde foram adotados como referências fundamentais nas práticas químicas globais, especialmente durante discussões sobre modalidades de implementação e alterações nas atividades industriais químicas com o propósito de promover ações sustentáveis. No presente contexto, serão elucidados e discutidos os mencionados doze princípios da Química Verde, de modo a apresentá-los de maneira mais detalhada, visando a uma compreensão aprofundada dos mesmos. Além disso, serão fornecidos alguns exemplos de sua aplicação em cenários práticos.

### 2.4.1 Princípio 1: Prevenção

Parece óbvio, mas, o primeiro princípio evoca que o melhor é prevenir os resíduos do que tratar ou limpar os resíduos depois de formados. De acordo com Warner, Cannon e Dye (2004) a QV é a prevenção da poluição ao nível molecular, e que os benefícios do uso de materiais e de processos mais seguros independem da escala em que são utilizados. Os autores relatam, como exemplo da aplicação deste princípio, a reestruturação que a Pfizer fez no processo de fabricação da sertralina, o ingrediente ativo do amplamente prescrito e mundialmente renomado antidepressivo Zoloft (WARNER; CANNON; DYE, 2004).

Durante essa atuação a Pfizer precisou reexaminar seu processo de fabricação, o que resultou em reações mais eficientes, e na supressão de muitos materiais que não contribuem para o produto final. Como resultado destas mudanças, foram eliminadas aproximadamente 700 toneladas métricas de resíduos por ano. Este relato destaca a prevenção de resíduos como uma oportunidade significativa para impulsionar as margens de lucro em setores em expansão na indústria química (WARNER; CANNON; DYE, 2004).

### 2.4.2 Princípio 2: Economia atômica

Esse princípio pressupõe que as metodologias sintéticas devem ser desenvolvidas de modo a incorporar o maior número possível de átomos dos reagentes no produto final. E deve-se ficar atento para os casos em que há modificações nas reações e estas indicam aumento no rendimento, o que parece ser promissor à primeira vista, mas quando se analisam e calculam os insumos de materiais da transformação, acaba sendo observado um aumento de átomos que não são incorporados no produto final, ou seja, um rendimento maior nem sempre resulta em uma economia atômica maior. Por isso, é necessário realizar uma análise precisa da eficiência (WARNER; CANNON; DYE, 2004). A economia atômica pode ser calculada dividindo-se a massa molecular do produto desejado pela soma das massas moleculares de todos os reagentes empregados, de acordo com a reação química balanceada. Isso pode ser resumido na seguinte equação:

$$\% \text{ ECONOMIA ATÔMICA} = \frac{\text{MM (produto)}}{\sum \text{MM}} \times 100$$

Um exemplo deste princípio é da empresa BHC Company, hoje conhecida por BASF Corporation, que desenvolveu um novo processo sintético mais eficiente e ecologicamente correto para fabricar Ibuprofeno, um conhecido analgésico antiinflamatório não esteróide, comercializado sob marcas como Advil e Motrin. Este novo processo utiliza menos material, envolve apenas três etapas catalíticas ao invés de seis, e possui uma economia atômica de aproximadamente 80% (99% contando com a recuperação de um subproduto do ácido acético), e o uso de fluoreto de hidrogênio anidro como catalisador e solvente oferece vantagens na seletividade da reação e na redução de resíduos, já que este é reciclado no processo. Assim, neste método, praticamente todos os materiais iniciais são convertidos em produtos ou subprodutos recuperados ou são recuperados completamente e reciclados no processo, logo a gestão de resíduos é praticamente eliminada (WARNER; CANNON; DYE, 2004).

### 2.4.3 Princípio 3: Sínteses de Produtos Químicos Menos Perigosos

Este princípio expressa que se deve desenvolver rotas sintéticas para utilizar e gerar substâncias com pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao meio ambiente.

Ao examinar apenas o resultado de uma reação química, muitas vezes se ignora as etapas, ou para reações de uma única etapa, são encobertos reagentes considerados tóxicos e perigosos, que não se manifestam no produto final. Essencialmente, a QV consiste em reformulações das reações existentes para incorporar materiais menos perigosos.

Para exemplificar este princípio Warner, Cannon e Dye (2004) apresentam o ganhador do *Green Chemistry Challenge Award* em 1999, os Laboratórios de Pesquisa da Lilly, pelo redesenho da síntese do LY300164, um candidato a fármaco anticonvulsivante, para o tratamento de epilepsia e distúrbios neurodegenerativos. Na nova síntese, a primeira etapa emprega a levedura *Zygosaccharomyces rouxii* em um sistema de reação trifásico inovador, possibilitando a remoção de componentes orgânicos da corrente de resíduos aquosos. Na segunda etapa conseguiram eliminar o uso de óxido de cromo já prevenindo a geração de resíduos de cromo, um possível carcinógeno, pois passaram a utilizar ar comprimido para realizar uma oxidação seletiva. Essa simples estratégia sintética menos perigosa resultou em melhorias ambientais muito significativas. Em números, aproximadamente 34.000 litros de solvente e 300 kg de resíduos de cromo foram eliminados para cada 100 kg de LY300164 produzido. Além de reduzir a exposição dos trabalhadores e diminuir os riscos, também foi possível a diminuição de custos de processamento e o aumento da eficiência do processo, pois o rendimento passou de 16% para 55% (WARNER; CANNON; DYE, 2004).

#### **2.4.4 Princípio 4: Design de Produtos Químicos Seguros**

De acordo com este princípio, deve-se buscar o desenvolvimento de produtos que, após realizarem a função desejada, não causem danos ao ambiente.

Warner, Cannon e Dye (2004) abordam que, na época da escrita do artigo, apenas 55% dos produtos químicos na lista *Toxic Release Inventory* possuíam dados de testes completos. Dos mais de 45.000 produtos químicos listados pela EPA na época, “menos de 1000 foram testados para efeitos agudos e apenas cerca de 500 foram testados para efeitos cancerígenos, reprodutivos ou mutagênicos” (WARNER; CANNON; DYE, 2004, p.788 - tradução nossa). Em termos de valores, os autores estimam que para obter dados precisos para os produtos químicos de alto volume custaria apenas US\$427 milhões, o que representava 0,2% da receita das 100 maiores empresas químicas do período estudado, realmente um valor insignificante diante de todo o lucro obtido.

Para exemplificar uma ação que aborda o princípio 4, os autores Warner, Cannon e Dye (2004) apresentam a empresa *Rohm and Haas*, ganhadora do *Green Chemistry Challenge Award* em 1996. A *Rohm and Haas* é pioneira global no desenvolvimento de tecnologias e soluções inovadoras para a indústria de materiais especiais. Esta empresa desenvolveu uma alternativa não tóxica para substituir o uso de agentes anti-incrustantes em navios. A incrustação, é o crescimento indesejado de plantas e animais na superfície de um navio, e custa à indústria naval aproximadamente US\$3 bilhões por ano, em grande parte devido ao aumento

do consumo de combustível para superar o arrasto hidrodinâmico. O aumento do consumo de combustível contribui para a poluição, o aquecimento global e a chuva ácida.

Tradicionalmente, eram utilizados compostos organoestânicos, antiincrustantes contendo estanho tóxicos, como o óxido de tributilestanho (TBTO), com o objetivo de evitar acúmulo de cracas e plantas marinhas. De acordo com a *World Wildlife Foundation* (WWF), estes compostos eram considerados alguns dos produtos químicos mais tóxicos já lançados no ambiente marinho, mesmo quando em concentrações muito baixas. Assim, a *Rohm and Haas* substituiu estes compostos por um produto chamado *Sea-nine*, que se degrada rapidamente no ambiente, com meia-vida de um dia na água do mar e 1h em sedimentos, e a bioacumulação é essencialmente zero, além de não apresentar toxicidade crônica para a vida marinha circundante (WARNER; CANNON; DYE, 2004).

#### **2.4.5 Princípio 5: Solventes e auxiliares seguros**

Este princípio pressupõe que substâncias auxiliares como solventes, agentes de purificação e secantes, precisam ser evitadas ao máximo; quando inevitável, devem ser inócuos ou reutilizados.

Os autores Warner, Cannon e Dye (2004) afirmam que até 2004, a cada ano, eram utilizados cerca de 3,8 milhões de toneladas de solvente nos EUA. Normalmente estes solventes são à base de petróleo, sendo utilizados como agentes de limpeza para diversos tipos de produtos, e também estão incluídos na produção de adesivos, tintas, revestimentos, dentre outros. Muitos destes solventes são bem conhecidos pelo seu uso e também pelos danos ambientais que causam, como os clorofluorcarbonetos (CFCs) que destroem a camada de ozônio, e o tricloroetano que polui águas subterrâneas. Também há uma longa lista de solventes tóxicos à saúde humana, como éteres de etilenoglicol, clorofórmio, benzeno, tolueno, dentre outros. Logo, a aplicação do princípio 5 é muito desejável.

Em 1996, a empresa *The Dow Chemical Company* ganhou o prêmio *Greener Reaction Conditions Award*, pelo processo inovador que desenvolveu para fabricação de folhas de espuma de poliestireno utilizando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como agente de expansão. Tradicionalmente, os agentes de expansão utilizados para fabricar poliestireno (isopor) foram associados à destruição da camada de ozônio, ao aquecimento global e à poluição atmosférica. Já o método desenvolvido por esta empresa é totalmente atóxico, pois utiliza CO<sub>2</sub> proveniente de fontes comerciais e naturais existentes, como fábricas de amoníaco e poços de gás natural, o que garante que nenhum aumento líquido no CO<sub>2</sub> global resulte da utilização desta tecnologia. Além disso, o CO<sub>2</sub> também não é inflamável, proporcionando maior segurança ao trabalhador.

Esta tecnologia proporciona benefícios ambientais significativos, eliminando o uso de agentes associados a preocupações ambientais e ampliando seu alcance para instalações comerciais em grande escala (WARNER; CANNON; DYE, 2004).

Em trabalho recente, Pinto, Ribeiro e Machado (2019) discutem sobre a complexidade da escolha de solventes substitutos em processos de síntese que promovam o aumento da verdures nos processos. Os autores desenvolveram um procedimento para avaliar e otimizar a verdures de solventes em síntese, e os avaliaram com métricas de verdures de massa, energia e tempo, visando à otimização da verdures intrínseca dos solventes e também de sua eficiência para melhorar o desempenho verde geral da síntese. Este trabalho mostra que, ao substituir solventes em processos de síntese com o objetivo de torná-los mais sustentáveis pode não resultar em um processo globalmente mais verde, podendo impactar em outras áreas, como o consumo de energia. Como conclusão, os autores afirmam que este estudo comprovou que, para otimizar a sustentabilidade, é essencial avaliar múltiplos fatores com métricas adequadas, tanto na reação quanto na purificação, assim alcançando maior pureza do produto final.

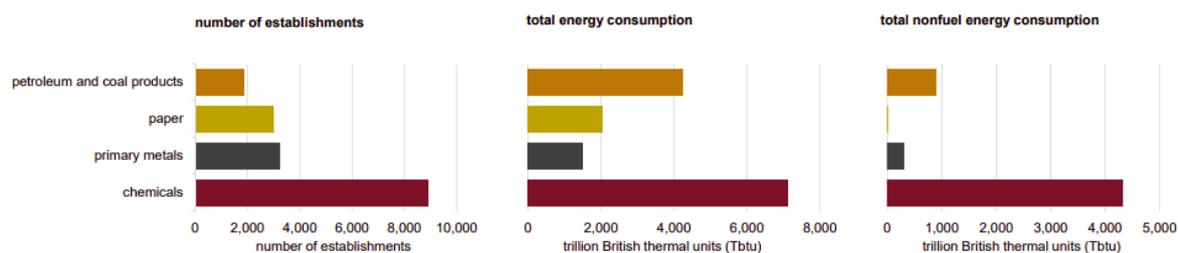
#### **2.4.6 Princípio 6: Design para Eficiência Energética**

De acordo com este princípio, a utilização de energia pelos processos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos, e por isso, minimizada. Os processos químicos devem ser o menos agressivos possíveis, e, idealmente, realizados à temperatura e pressão ambiente.

De acordo com o relatório intitulado *2018 Manufacturing Energy Consumption Survey* (Pesquisa de consumo de energia industrial de 2018) preparado pela Administração de Informação de Energia dos EUA (EIA), que é a agência estatística e analítica dentro do Departamento de Energia dos EUA, quatro subsetores – produtos químicos, produtos petrolíferos e de carvão, papel e metais primários – foram responsáveis pela maior parte do consumo de energia industrial. Dentre estes quatro principais setores consumidores de energia, a indústria química teve o maior número de estabelecimentos e o maior consumo de energia e de energia não combustível, como pode-se observar na figura 2 abaixo.

**Figura 2.** Número de estabelecimentos, consumo de energia e consumo de energia não combustível de 2018 nos Estados Unidos.

Number of establishments, energy consumption, and nonfuel energy consumption, 2018



Fonte: EIA - US. Energy Information Administration, 2018.

De acordo com os resultados deste relatório, a indústria Química dos EUA consome cerca de 7.000 trilhões de unidades térmicas britânicas (Tbtu) de energia anualmente (Manufacturing Energy Consumption Survey, 2018), cerca de 37% de todo o uso de energia industrial dos EUA. Além do alto consumo, também deve ser voltada a atenção para a grande quantidade de poluição que é gerada diante do uso destes combustíveis não renováveis, o que contribui muito para as emissões de gases poluentes para a atmosfera.

Uma tentativa de redução da poluição apontada por Warner, Cannon e Dye (2004) é através do uso de tecnologias catalíticas na geração de combustíveis e produtos químicos limpos. Ainda assim, preparações tradicionais de catalisadores acabam gerando grandes quantidades de águas residuais, de energia e também pode acabar gerando emissões de nitratos e sulfatos, o que contribui para a chuva ácida. Diante desses problemas, a Sud-Chemie (agora uma empresa do Grupo Clariant) recebeu o *Presidential Green Chemistry Challenge: 2003 Greener Synthetic Pathways Award*, por desenvolver um método para sintetizar catalisadores de óxido sólido usados na produção de combustíveis e produtos químicos limpos com zero descarga de águas residuais, zero descarga de nitratos, além de economizar água e energia. Este processo também reduz as emissões de gases apenas para vapor de água puro e uma pequena quantidade de CO<sub>2</sub>.

### 3.4.7 Princípio 7: Uso de fontes renováveis

Com base neste princípio, uma matéria-prima deve ser renovável em vez de esgotar-se sempre que técnica e economicamente praticável. Atualmente, é enfatizado que o uso de biomassa como matéria prima deve ser priorizado no desenvolvimento de novas tecnologias e processos.

Há muito tem se discutido a dependência da indústria de matérias-primas à base de petróleo e a necessidade de redução deste uso, por conta do esgotamento e também do potencial altamente poluidor. Por conta disso, a busca pela substituição do petróleo e seus derivados

ganhou força, principalmente no que diz respeito às pesquisas sobre usos de combustíveis renováveis, extraídos de biomassa, que são menos prejudiciais ao meio ambiente.

Uma empresa que ficou conhecida por seus esforços em oferecer polímeros derivados inteiramente de recursos renováveis é a Cargill Dow LLC (agora NatureWorks LLC) que em 2002 recebeu o *Presidential Green Chemistry Challenge: 2002 Greener Reaction Conditions Award* por desenvolver o processo chamado *NatureWorks* que produz polímeros de ácido polilático (PLA) de base biológica. O PLA é feito de ácido láctico, que é gerado a partir de biomassa através de um processo de fermentação natural.

As roupas feitas com fibras *NatureWorks* oferecem bom caimento, resistência a rugas, ótimo gerenciamento de umidade e resistência. Quando nas aplicações de embalagens, os produtos proporcionam uma opção natural, compostável e reciclável sem comprometer o desempenho do produto. A empresa afirma que o processo de fabricação de seu produto segue os 12 princípios da QV, sendo este processo dividido em três etapas e cada uma delas apresenta rendimentos superiores a 95%. Nestas etapas utiliza água na fermentação o que elimina o uso de solventes orgânicos, utiliza fluxos internos de reciclagem para eliminar resíduos e incorpora pequenas quantidades do catalisador para aumentar a eficiência e reduzir o consumo de energia. O ácido láctico utilizado é derivado de fontes renováveis anualmente, tornando o PLA mais sustentável, requerendo 20-50% menos recursos fósseis do que plásticos à base de petróleo comparáveis. Além disso, o PLA é totalmente biodegradável ou facilmente convertido em ácido láctico para reciclagem no processo.

Uma empresa brasileira chamada Braskem (que tem a Petrobras como detentora de 49% de suas ações) começou a comercializar o primeiro “plástico verde” em 2009, utilizando uma tecnologia que a Petrobras possuía desde o final da década de 70, porém só houve o interesse em utilizá-la por questões econômicas, já que nessa época o preço do barril de petróleo atingiu valores muito altos. A inovação deste produto está na obtenção de eteno a partir do etanol da cana. Ou seja, em termos químicos, o polietileno verde, comparativamente com aquele produzido com nafta eram idênticos, mas com impactos ambientais bastante diferentes já que ele remove o CO<sub>2</sub> da atmosfera, e quando há a queima do etanol parte do CO<sub>2</sub> produzido é reabsorvida no crescimento da cana. Isso quer dizer que a utilização de petróleo cria um desequilíbrio ambiental, pois apenas há emissão de CO<sub>2</sub>, sem processos equivalentes para retirá-lo da atmosfera.

#### **2.4.8 Princípio 8: Redução de Derivados**

Este princípio aborda que a derivação desnecessária deve ser minimizada ou, se possível, evitada, porque estas etapas usam reagentes adicionais e podem gerar resíduos.

Um clássico da química orgânica sintética de meados do século XX é a realização de sínteses elaboradas em várias etapas e que empregavam “grupos de proteção” cada vez mais sofisticados. Eram grupos que temporariamente bloquearam a reatividade de um grupo funcional específico até ser introduzido um segundo reagente igualmente específico para removê-lo. Apesar de serem avanços históricos da síntese orgânica, do ponto de vista do impacto ambiental, o uso de grupos de bloqueio é menos aceitável do que sínteses que dispensam essa necessidade.

Um caso que exemplifica o uso deste princípio na prática é uma forma altamente seletiva e mais eficiente de produzir poliésteres usando enzimas, que foi desenvolvido pelo professor Richard A. Gross da *Polytechnic University*, o que lhe rendeu o prêmio de 2003 da *Presidential Green Chemistry Challenge: 2003 Academic Award*. Essa técnica requer menos energia e substâncias tóxicas do que os métodos convencionais, que normalmente utilizam catalisadores de metais pesados e solventes perigosos. Também elimina a necessidade de grupos protetores/desprotetores e solventes, além de possibilitar condições de reação mais suaves. Além disso, essa inovação também possibilita a fabricação de novos tipos de poliésteres (WARNER; CANNON; DYE, 2004).

#### **2.4.9 Princípio 9: Catálise**

Este princípio prevê que o uso de catalisadores (tão seletivos quanto possível) deve ser escolhido em substituição aos reagentes estequiométricos.

Existem diversos exemplos de reações estequiométricas que podem ter alternativas catalíticas, isso desde que o catalisador a ser utilizado não seja mais tóxico do que os reagentes estequiométricos que eles substituem.

Em 2020, a Merck & Co. recebeu o prêmio *Green Chemistry Challenge: 2020 Greener Reaction Conditions Award* por propor uma solução verde para o problema de síntese do ProTide, onde desenvolveu um catalisador multifuncional que monta pró-drogas estereosseletivamente. Para fins de contextualização, caso o leitor se depare com informações totalmente novas, os medicamentos ProTide foram desenvolvidos para melhorar a permeabilidade celular de medicamentos nucleosídeos comuns em tratamentos antivirais e anticancerígenos. O desenvolvimento destes medicamentos possibilitou diversos avanços, incluindo a descoberta do Sofosbuvir para tratar a hepatite C crônica. Porém, apesar de representarem quase a metade desses medicamentos no mercado farmacêutico, os ProTides são

moléculas quirais que demandam instalação estereosseletiva, o que leva a sínteses ineficientes devido à fraca quimiosseletividade e também ao uso de reagentes caros e perigosos.

Diante disso, a Merck desenvolveu um catalisador que pode ser usado para sintetizar o medicamento uprifosbuvir com pureza muito elevada em apenas duas etapas de reação. O catalisador foi testado na síntese de outros ProTides, incluindo fluorouridina e azidotimidina, e foi considerado eficaz na maioria dos casos com seletividade aprimorada, demonstrando potencial para tornar a síntese destes e de outros ProTides mais verde. O novo processo melhorou a eficiência e a sustentabilidade da fabricação de um importante antiviral em mais de 85%. Isto reduz o desperdício e os perigos associados ao processo existente e resulta em economias substanciais de custos.

#### **2.4.10 Princípio 10: Design para degradação**

Neste princípio, os produtos químicos precisam ser projetados para a biocompatibilidade. Após a utilização não devem permanecer no ambiente, degradando-o.

São muito conhecidos atualmente os poluentes orgânicos persistentes, os POPs. Eles estão em todos os lugares e são substâncias altamente tóxicas, formadas por compostos químicos orgânicos semelhantes aos dos seres vivos. Alguns dos processos industriais responsáveis pelo surgimento destas substâncias tóxicas são: a produção de PVC, produção de papel, geração e composição de produtos agrícolas, incineração do lixo, e processos industriais que empregam cloro e derivados do petróleo. Os POPs se acumulam ao longo dos anos em microrganismos, plantas, animais e seres humanos, sem serem eliminados ao longo do tempo, sendo denominados bioacumulativos. Além disso, são resistentes à degradação química, biológica e fotolítica, e mesmo em concentrações baixas impactam a saúde humanas e os ecossistemas.

Em 2001 ocorreu a Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes, é um Tratado Internacional construído para eliminar em nível mundial a produção e o uso de algumas das substâncias mais tóxicas produzidas pelo homem e foi auspiciado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Inicialmente a Convenção elegeu doze substâncias para serem banidas, sendo elas: as dioxinas, furanos, policloreto de bisfenilas (PCBs); DDT, clordane, heptacloro, hexaclorobenzeno (HCB), toxafeno, aldrin, dieldrin, endrin e mirex.

De acordo com as informações constantes no site do Ministério do Meio Ambiente sobre a Convenção de Estocolmo:

Inicialmente, foram listados 12 POPs na Convenção, número ampliado em 2009, após decisão da 4ª Conferência das Partes de incluir mais 9 substâncias, e depois, em 2011, com a inclusão do Endossulfam. Na COP 6, em maio de 2013, foi adicionado o

Hexabromociclododecano. Na COP 7, em maio de 2015, foi incluído o Hexaclorobutadieno, o Pentaclorofenol, seus sais e ésteres e os Naftalenos Policlorados. Em 2017, durante a COP 8, foram listados como POPs o Éter Decabromodifenílico e as Parafinas Cloradas de Cadeia Curta. (<https://antigo.mma.gov.br/seguranca-quimica/convencao-de-estocolmo.htm>) acesso em 28 de janeiro de 2024).

Com vistas a valorizar estes esforços, diversas ações foram tomadas pelas indústrias no sentido de minimizar a emissão de poluentes persistentes. Destacamos aqui a premiação *Green Chemistry Challenge: 2022 Small Business Award* o qual foi concedido à empresa *Provivi* por criar o Provivi FAW, um produto mais ecológico para controlar a lagarta do funil do milho, uma praga que se alimenta do milho e dentre outras mais de oitenta culturas. Este produto é um feromônio produzido a partir de óleos vegetais renováveis, e age reduzindo a capacidade do inseto de acasalar, confundindo os machos da lagarta do milho, reduzindo muito a próxima geração de larvas, logo reduz a necessidade do uso de pesticidas tradicionais que podem prejudicar os insetos benéficos, como os polinizadores. Além dos benefícios já citados, a empresa desenvolveu novos métodos de reação mais limpos, com redução de matérias-primas e solventes à base de combustíveis fósseis, pois utiliza a fermentação para produzir matérias-primas essenciais a partir de vegetais. Estas melhorias na síntese têm como resultado reduções na geração de resíduos aquosos, sólidos e orgânicos e também nas etapas de reação, o que diminui a necessidade de solventes orgânicos desnecessários.

#### **2.4.11 Princípio 11: Análise da Prevenção da Poluição em Tempo Real**

Com base neste princípio, o monitoramento e controle em tempo real devem ser viabilizados. A possível formação de substâncias tóxicas deve ser detectada antes de sua geração.

Para colocar este princípio em prática devem ser considerados dois aspectos: tempo e materiais, ou seja, é necessário que sejam desenvolvidas técnicas analíticas e instrumentação em tempo real, para aplicação em processos industriais de grande escala.

Determinar quantitativamente os contaminantes e poluentes no meio ambiente são um aspecto bastante importante na química analítica. Algumas empresas, como a brasileira Conatus Ambiental, afirmam que utilizam plataformas tecnológicas para contribuir no tratamento de água e efluentes, e também utilizam indicadores dos níveis de poluição que são monitorados durante os processos como forma de melhorar a performance do tratamento e reduzir os níveis de poluição. Recentemente, no final do ano de 2023, a empresa recebeu o prêmio Kurt Politzer de Tecnologia concedido pela ABIQUIM, pelo projeto que apresenta um sistema revolucionário

de automação de processos de tratamento de água integrado com inteligência artificial, com objetivos de reduzir o uso de produtos químicos desnecessários e aumentar a eficiência das operações nas estações de tratamento de águas.

#### **2.4.12 Princípio 12: Química inerentemente segura para a prevenção de acidentes**

As substâncias e a forma como uma substância é utilizada em um processo químico devem ser escolhidas para minimizar o potencial de acidentes químicos, incluindo vazamentos, explosões e incêndios.

Na maioria das discussões envolvendo QV a tendência é focar nas questões de impactos ambientais e toxicidade, frequentemente ficando ausentes as discussões sobre riscos físicos, como explosões e incêndios (WARNER; CANNON; DYE, 2004). Em uma conversa com alunos e egressos dos cursos de química é certo que várias histórias de acidentes ocorridos em laboratórios de ensino e de pesquisa viriam à tona. Por conta disso, este princípio é um tópico que deveria ser mais explorado e considerado nas práticas químicas industriais e acadêmicas. Por outro lado, é relativamente difícil encontrar exemplos de ações práticas que discutem e aplicam este princípio. Então, elencamos que: para que a química seja praticada de forma segura, deve-se levar em conta a integração de todos os princípios da QV já citados, pois todos corroboram no sentido de aumentar a segurança dos processos, tanto para o ambiente quanto para o ser humano; o conceito de segurança química poderia ser mais enfatizado no cotidiano da formação do químico, o que resultaria na aplicação consistente dos princípios da QV quando se propõem atividades práticas em sala de aula e também na pesquisa; se levarmos em conta o paradigma ecológico como objetivo a ser perseguido, deve-se deixar de lado quaisquer aspectos relacionados ao paradigma do risco e assim eleva-se a segurança de processos e práticas, garantindo que ao fim seja alcançada maior verdura e, conseqüentemente, menos acidentes e menor toxicidade.

### **2.5 A QUESTÃO DA AVALIAÇÃO DE EFICÁCIA EM QV: CRITÉRIOS PARA AVALIAÇÃO**

Uma dimensão de extrema importância para a QV e de presença obrigatória na educação em QV diz respeito às métricas. Machado (2014) afirma que quando se pratica a QV é de fundamental importância avaliar até que ponto as reações e os processos são realmente verdes. Para essa constatação é necessário aferir o que ele chama de verdura química. Assim, a verdura

química é determinada por um grupo muito diverso de fatores que, idealmente, impliquem que o processo:

- 1) seja intrinsecamente benigno (tenha benignidade embutida) - não tenha efeitos nocivos para os humanos, a biosfera e o ambiente;
- 2) não dê origem a resíduos, particularmente se tóxicos e perigosos;
- 3) seja preparado por reações suaves, seguras e que não consumam energia;
- 4) seja obtido com reagentes preparados a partir de matérias-primas renováveis etc (MACHADO, 2014, p. 51).

Outro ponto bem discutido por Machado (2014) é sobre a natureza complexa da verdura química, a qual exige que:

(...) para se avaliar a verdura química dos produtos químicos, reações e processos industriais de fabrico, modos de utilização etc., sejam usadas métricas adequadas de diversos tipos. Como há muitos parâmetros a aferir, o número de métricas é potencialmente elevado, a sua definição é complexa, e a escolha das mais adequadas varia de situação para situação. Por isso, tal escolha é frequentemente subjetiva e sujeita a debate - particularmente no que diz respeito à aferição da verdura química dos processos industriais, realizados em instalações geralmente constituídas por numerosas peças de equipamento de natureza variada, muitas das quais têm elas próprias funcionamento complexo (MACHADO, 2014, p. 53).

Machado (2014) reafirma com frequência que a concepção e uso de métricas de verdura química é difícil, não possui uma única solução que possa ser aplicada em todas as situações, sendo essa complexidade consequência da natureza sistêmica da Química. Como a QV é um fenômeno que leva em consideração diversos aspectos, precisa de ferramentas adequadas para medir o grau de verdura dos métodos e procedimentos. As métricas da QV são úteis para observar e comparar as diferenças entre os processos químicos convencionais e suas alternativas verdes (PLOTKA-WASYLKA *et al.*, 2018). A compreensão dessas diferenças pelos alunos pode trazer a eles o convencimento necessário de que a QV traz vantagens. Alguns parâmetros simples e aplicáveis a reações químicas são: economia de átomos, eficiência de massa de reação, fator E, intensidade da massa do processo (CONSTABLE; CURZONS; CUNNINGHAM, 2002).

Tradicionalmente, usa-se como avaliação da eficiência das reações químicas o rendimento de um produto, que consiste na medida do desempenho de uma reação, e define-se como sendo a razão entre a quantidade de produto formado e a quantidade de produto que se formaria se todo o reagente limitante originasse produto, ou seja, a quantidade prevista pela estequiometria. Este é um cálculo extensamente conhecido e utilizado pelos químicos. Mas, quando os reagentes podem reagir de maneiras paralelas e gerar vários produtos simultaneamente, para a obtenção de um rendimento elevado (o mais próximo possível de 100%) é exigida uma seletividade elevada, uma outra métrica de eficiência.

A seletividade é um conceito relacionado ao rendimento, e é definida como a razão entre as quantidades de um produto desejado formado e a quantidade de produto indesejado formado. Nesse caso, o produto indesejado seriam todos aqueles produtos diferentes originados devido às reações paralelas, assim o produto desejado é acompanhado de co-produtos. A seletividade pode ser de vários tipos, definidos pela natureza da reação química (quimiosseletividade, regioseletividade, enantioseletividade, diastereoseletividade). Mas, independentemente do tipo de seletividade, quanto maior ela for, conseqüentemente maior será o rendimento da reação. Estas duas métricas são chamadas também de métricas de massa, dado que são obtidas por meio de cálculos estequiométricos, tendo atenção apenas aos reagentes estequiométricos, excluindo aqueles que surgem nas reações químicas, como reagentes auxiliares, solventes, catalisadores que, com frequência, são utilizados em maiores quantidades que os primeiros, mas cujos átomos não são incorporados no produto (MACHADO, 2007).

Também há uma métrica clássica importante especialmente para a Química Industrial a ser considerada que é a métrica econômica, a qual avalia se há condições de que o produto seja preparado, produzido e vendido com lucro, a partir dos custos para fabricação e o preço de venda do mesmo (MACHADO, 2007; 2014). Para Machado (2011), é preciso reconhecer que as sínteses em Química sejam economicamente viáveis para que se pretenda sua utilização industrial. Isso envolve aspectos relativos ao valor de venda do produto, de modo a cobrir os custos de produção e ainda obter retornos financeiros. Algo que se diferencia das sínteses acadêmicas que não têm como principal escopo os ganhos econômicos e muitas não são pensadas ou mesmo realizadas em escala industrial. Portanto, quando se pretende a implementação dos 12P da QV, é necessário que se considere e se busque equilíbrio entre requisitos ambientais e ecológicos, mas também econômicos e sociais (MACHADO, 2009).

Plotka-Wasyłka *et al.* (2018) destacam que também é importante sempre lembrar que a QV não se preocupa apenas com a eficiência das reações, logo, é necessário incorporar outros aspectos de avaliação como a utilização de energia e a toxicidade de reagentes, solventes e auxiliares, lembrando que a incorporação da termodinâmica nos currículos é obrigatória para que se tenha uma avaliação do consumo de energia que seja adequada. Já ao considerar perigos e riscos inerentes ao uso de substâncias químicas se tornam necessárias outras métricas, que sejam relacionadas à aferir a benignidade ambiental dos produtos e dos processos de fabricação dos mesmos, a análise da utilização de substâncias tóxicas e perigosas, a ponderação sobre o consumo dos recursos naturais. (MACHADO, 2014).

Machado (2014) afirma que devido a variedade de métricas solicitadas em QV, suas particularidades e complexidades, é necessário agrupá-las em categorias que as classifiquem e

facilitem o entendimento e utilização das mesmas. Para isso, ele cria um quadro, representado no Quadro 1 abaixo, onde apresenta essa divisão.

Quando comparado com as métricas clássicas da química (rendimento, seletividade, econômica), as informações contidas no Quadro 1 mostram a necessidade de novas métricas para a QV, que estejam relacionadas aos efeitos ambientais, aos custos, ao consumo de matéria e energia e à segurança. Ou seja, as métricas clássicas não deixarão de ser importantes e utilizadas, mas a QV exige uma “mudança de paradigma de avaliação da eficiência dos processos no fabrico de produtos químicos” (MACHADO, 2014, p. 72).

**Quadro 1.** Tipos de métricas de verdura química

<p>Eficiência de reação/Massa/Produtividade atômica (Princípios 1 e 2)</p> <p>Energia (Princípio 6)</p> <p>Ambientais/Toxicidade (Princípios: vários)</p> <p>Segurança (Princípio 12)</p> <p>Econômicas (Princípios: não contemplados diretamente)</p>
--

**Fonte:** retirado de Machado, 2014, p. 72.

De acordo com o observado no Quadro 1, as métricas ambientais abrangem vários princípios, como P3, P5, P7, P8, P9, P10 e P12. Como métricas que avaliam a eficiência energética de um processo, que abrangem o P6, tem-se a Intensidade de Energia (EI), que é a razão entre a energia utilizada e a massa do produto obtido; a Intensidade de Tempo (TI), que é a razão entre o tempo utilizado e esta mesma massa; e *Throughput* (ou “velocidade” de produção, melhor taxa de produção) que é a quantidade de massa de produto obtido por unidade de tempo). Essas métricas de energia tendem a ser mais utilizadas no contexto industrial (PIRES; RIBEIRO; MACHADO, 2017).

Em seu livro “Introdução às métricas da Química Verde - uma visão sistêmica”, Machado (2014) apresenta e discute as métricas em dois grandes grupos: as Métricas de massa e as Métricas holísticas, explorando as diversas métricas que compõem estes grupos e discutindo as técnicas principais e mais utilizadas separadamente. Esses dois grupos de métricas serão apresentados e discutidos a seguir.

### 2.5.1 Métricas de massa

Para além das definições de métricas de massa clássica já discutidas anteriormente, de maneira geral, métricas de massa são específicas para medir o aproveitamento dos átomos dos

reagentes nas reações químicas, e isso se refere ao “englobamento dos átomos dos reagentes no produto da reação, limitando as suas perdas em resíduos” (MACHADO, 2014, p. 81), assim, conforme os dois primeiros dos 12 Princípios da QV, as novas métricas de massa visam a minimização dos resíduos e a diminuição dos desperdícios e gastos com matérias-primas naturais.

Uma métrica de massa conhecida como “rendimento de massa eficaz” foi proposta por Hudlicky *et al.* (1999) e foi definida como “a porcentagem da massa do produto desejado em relação à massa de todos os materiais não benéficos usados em sua síntese” (HUDLICKY *et al.*, 1999). Nessa métrica, há a tentativa de definir o rendimento da reação em termos da proporção da massa do produto que é feito de materiais não tóxicos. De maneira geral, quando são realizadas análises sobre rendimento não há avaliação da toxicidade do reagente, então introduzir essas reflexões é uma consideração bastante importante. Mas, embora na métrica de Hudlicky *et al.* (1999) haja tentativas de definir o que é benéfico em uma reação, não há clareza nessa definição, sendo difícil definir o que é ou não benéfico na prática, pois as informações de toxicidade ambiental de reagentes complexos são limitadas e, por conta disso, torna-se difícil usar essa métrica na maioria das reações com produtos químicos sintéticos. Ela só se tornaria possível se as informações sobre ecotoxicidade e toxicidade humana fossem disponibilizadas rotineiramente para todos os produtos químicos (CONSTABLE; CURZONS; CUNNINGHAM, 2002).

Outra métrica de massa, proposta por Sheldon (1992), chamada de Fator-E é definida pela quantidade de resíduos que é produzida para uma determinada massa de produto, sendo relativamente simples de compreender. Ela é calculada como a razão entre a totalidade da massa dos resíduos produzidos e a massa do produto desejado, resultando em um número sem unidades. “Assim, o valor ideal do Fator-E é zero, que ocorreria se não houvesse produção de quaisquer resíduos.” (MACHADO, 2014, p. 108). A partir dessa métrica é possível exprimir o desperdício relativo de diferentes partes das indústrias de processamento químico, tais como petroquímica e farmacêutica e, se usada de forma adequada, pode estimular inovações que podem resultar na redução do desperdício. Mas na indústria farmacêutica pode ser um tanto quanto difícil de usar essa métrica de maneira rotineira, porque pode não ser tão claro quanto de desperdício total é realmente definido e contabilizado e onde os limites do processo são traçados, podendo ser um limite em torno da instalação, dentro da região geográfica mais ampla da instalação, ou ainda a falta de clareza pode estar na própria definição de quais são os resíduos considerados, se estão todos incluídos nessa contagem ou não, pois os resíduos podem advir de diversas partes do processo. Ou seja, para um tipo de indústria onde a principal preocupação é

a de colocar novos produtos no mercado no menor tempo possível, esses tipos de dificuldades complicam o uso rotineiro dessa métrica e, ainda de maneira geral, a tendência é a de se ignorar os resíduos gerados em uma reação e deixar que essa preocupação seja tomada para outros, outras empresas que recolhem e fazem o tratamento dos resíduos posteriormente (CONSTABLE; CURZONS; CUNNINGHAM, 2002).

Outra métrica de massa é a “intensidade de massa”, que é a razão entre a massa total de materiais usados no processo e a massa de produto obtido. Assim como na métrica Fator-E, nessa métrica, para se obter a melhor o valor da métrica deve ser o menor possível. Em uma situação ideal, onde todos os reagentes saem incorporados no produto desejado e admitindo rendimento de 100%, a intensidade de massa terá o valor ideal igual a um. De acordo com Machado (2014), essa métrica apresenta algumas vantagens:

Essa métrica favorece atividades de otimização do uso dos recursos naturais, um objetivo muito importante para a Sustentabilidade, o que resulta de a métrica poder ser calculada a partir dos materiais básicos extraídos da ecossfera na manufatura dos produtos químicos. Tal prática permite englobar todas as etapas ou operações realizadas fora das instalações, seja na obtenção dos reagentes e materiais auxiliares, a partir dos recursos naturais, ou na fabricação de reagentes intermediários da síntese que seja contratado a outras empresas, um procedimento atualmente comum nas empresas farmacêuticas (MACHADO, 2014, p 116).

A intensidade de massa é uma métrica de aplicação *a priori* e métricas desse tipo contribuem no desenvolvimento de vias de síntese e processos verdes enquanto estes são desenvolvidos e testados.

“Economia atômica” é a razão entre a massa de átomos de reagentes incorporados no produto desejado e a massa total de átomos nos reagentes, expressa em porcentagem, sendo uma métrica de incorporação dos átomos dos reagentes no produto. Seu valor ideal é igual a 100%. A obtenção do valor teórico dessa métrica é muito simples, podendo ser calculada *a priori* a partir da equação estequiométrica, antes mesmo de realizar o trabalho no laboratório. Porém, se trata de uma métrica teórica, “o valor da economia atômica é um limite máximo, pelo que, na prática, a eficiência real de colocação dos átomos dos reagentes no produto é sempre inferior à prevista por ela” (MACHADO, 2014, p. 127).

Diante do exposto, compreende-se que as métricas propõem-se sobrepujar uma concepção reducionista de QV, pois buscam superar as situações em que se agrega um ou outro princípio de QV nas práticas, assim pretende-se às avaliações holísticas, as quais garantem uma análise o mais completa possível do processo por meio de uma visão sistêmica.

### 2.5.2 Métricas Holísticas

Em relação às métricas de massa apresentadas anteriormente, Machado (2014) afirma que há uma característica em comum a todas elas, que é o fato de cada uma ser orientada para uma particularidade da verdura química, não levando em consideração fatores como riscos para saúde e meio ambiente, por exemplo, o que as reduz a um limitado alcance. Pois a informação de verdura que ela traz não diz respeito ao todo do processo. Por conta dessa limitação do uso isolado das métricas de massa, alguns autores inferem que é preferível que as métricas considerem os 12P QV na análise da verdura química, ampliando as possibilidades de compreensão do todo e não apenas de uma parte (RIBEIRO; COSTA; MACHADO, 2010, MACHADO, 2014).

Uma forma de minimizar essas limitações é a utilização de métricas que tenham como objetivo garantir avaliações de verdura que considerem mais aspectos quantos forem possíveis em uma reação química, e que sejam orientadas pelo cumprimento dos 12P da QV. Diante disso, Machado (2014), em conjunto com outros pesquisadores, propuseram as Métricas Holísticas: Quadro Verde, Círculo Verde, Matriz Verde e Estrela Verde, as quais serão apresentadas a seguir.

O chamado Quadro Verde é utilizado em situações em que são necessárias informações rápidas e não tão precisas, então são tidas como uma primeira avaliação, apenas qualitativa da verdura de uma reação química (ou de um composto, de uma síntese etc.). Para construção do mesmo primeiramente devem ser listadas as características (na vertical) relevantes do composto (como: propriedades, composição, inflamabilidade, toxicidade, degradabilidade, energia embutida etc.) ou da reação (como: condições: temperatura, pressão, derivatização, catalisadores, solventes, reagentes auxiliares, potenciais riscos etc.). Cada uma das características listadas deve ser analisadas para cada um dos 12 princípios (listados na horizontal). Se o princípio em análise estiver sendo cumprido o valor será (+), quando não for cumprido será (-) e quando não couber esse princípio nesta característica deve-se colocar o valor (0). Também podem ser acrescentados os símbolos de sinal de interrogação quando a avaliação for posta em dúvida. A proporção relativa entre (-) e (+) dá uma indicação global da verdura avaliada. Apesar de os resultados obtidos com o Quadro Verde serem inconclusivos e subjetivos, ele é útil por ser de rápida construção e análise e auxilia em situações em que se pretende comparar duas possíveis alternativas de forma preliminar. Ele é mais utilizado como um incentivo à análise global da verdura química e teve grande relevância na concepção das outras métricas holísticas (MACHADO, 2014).

O Círculo Verde é uma métrica gráfica em QV que se baseia na construção de um círculo dividido em setores, que correspondam ao número de princípios da QV que estão sendo avaliados, de acordo com o Quadro 2, cada um deles colorido de verde ou vermelho (ou coloridos e não coloridos, conforme escolha pessoal). A interpretação da métrica é simples e ocorre por meio de inspeção visual, sendo que o círculo fica mais verde conforme o número de princípios atendidos. Sendo o índice de cumprimento dos princípios (ICP) a razão entre o número de princípios cumpridos/princípios não cumpridos x 100% (RIBEIRO; MACHADO, 2012; MACHADO, 2014; ALVES; VIRGENS, 2016). De maneira similar ao Quadro Verde, o Círculo Verde também é uma ferramenta de avaliação da verdura química de construção rápida, e que permite uma visão imediata dos resultados, porém ainda demanda mais detalhes para uma conclusão mais precisa.

**Quadro 2.** Critérios para avaliação do cumprimento dos princípios da QV  
(continua)

Princípio da QV	Critérios
P1 - Prevenção	Não se formam resíduos, ou quando se formam têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente
P2 - Economia Atômica	Reações sem reagente em excesso ( $\leq 10\%$ ) e sem formação de coprodutos (não se considera a água)
P3 - Sínteses menos perigosas	Todas as substâncias envolvidas são inócuas ou têm riscos baixos para a saúde e o ambiente

**Quadro 2.** Critérios para avaliação do cumprimento dos princípios da QV  
(conclusão)

P5 - Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	Não se utilizam solventes nem outras substâncias auxiliares, ou quando se utilizam têm riscos baixos para a saúde e para o
---	--

ambiente	
P6 - Planificação para conseguir eficácia energética	Pressão e temperatura ambientais
P7 - Uso de matérias-primas renováveis	Todos os reagentes/matérias-primas envolvidas são renováveis
P8 - Redução de derivatizações	Não se utilizam derivatizações
P9 - Catalisadores	Catalisadores não necessários ou que têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente
P10 - Planificação para a degradação	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis com os produtos de degradação inócuos
P12 - Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	As substâncias envolvidas têm um risco baixo de acidente químico

Fonte: retirado de RIBEIRO; MACHADO, 2012.

Uma outra métrica é a Matriz Verde, onde são utilizados os mesmos critérios do Círculo Verde (ver Quadro 1), mas permite obter uma visão mais completa da verdura química, pois é realizada uma análise SWOT. De acordo com Machado (2014, p.194), “o acrônimo SWOT resulta das iniciais das palavras inglesas que designam os seguintes fundamentos básicos da ferramenta: *Strenghts* - pontos fortes; *Weaknesses* - pontos fracos; *Opportunities* - oportunidades; *Threats* - ameaças.” Essa análise é dividida em interna e externa. Para uma análise interna, foram definidas dez dimensões de análise que são apresentadas no Quadro 3. Um princípio cumprido corresponde a um ponto forte e um princípio não cumprido corresponde a um ponto fraco. Para uma análise externa as *opportunities* são os aspectos que podem levar ao cumprimento daqueles princípios ainda não foram cumpridos e, para as *threats* que podem se colocar como empecilhos para o cumprimento de alguns princípios, impedindo a melhoria da verdura química (MACHADO, 2014).

**Quadro 3.** Dimensões de análise interna e critérios para a contabilização dos pontos fortes e fracos.

Dimensões de análise	Ponto Forte	Ponto Fraco
1 - Riscos para a saúde e ambiente dos resíduos	Não há formação de resíduos ou os resíduos têm riscos baixos para a saúde e ambiente	Há formação de resíduos com riscos moderados/elevados para a saúde e/ou ambiente
2 - Excesso de reagentes e formação de coprodutos (não se considera a água)	<b>Excesso de reagentes (<math>\leq 10\%</math>) e não há formação de coprodutos (a água não é considerada)</b>	Excesso de reagentes $>10\%$ e/ou há formação de coprodutos
3 - Riscos para a saúde e ambiente devido às substâncias envolvidas	As substâncias envolvidas têm riscos baixos para a saúde e ambiente	As substâncias envolvidas têm riscos moderados/elevados para a saúde e/ou ambiente
5 - Riscos para a saúde e ambiente dos solventes e/ou de outras substâncias auxiliares	Não se utilizam solventes nem outras substâncias auxiliares ou utilizam-se mas têm riscos baixos para a saúde e ambiente	Utilizam-se solventes e/ou outras substâncias auxiliares com riscos moderados/elevados para a saúde e/ou ambiente
6 - Pressão e temperatura	Pressão e temperatura ambientais	Pressão e temperatura diferentes da ambiental
7 - Utilização de substâncias renováveis (a água não é contabilizada)	Todos os reagentes /matérias-primas envolvidos são renováveis (a água não é considerada)	Pelo menos um dos reagentes /matérias-primas não é renovável (a água não é considerada)
8 - Derivatizações	Não se utilizam	Utilizam-se
9 - Utilização de catalisadores	Catalisadores são necessários ou têm riscos baixos para a saúde e ambiente	Utilizam-se catalisadores com riscos moderados/elevados para a saúde e/ou ambiente
10 - Utilização de substâncias degradáveis a produtos inócuos (a água não é contabilizada)	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis a produtos inócuos (a água não é considerada)	Pelo menos uma das substâncias envolvidas não é degradável a produtos inócuos (a água não é considerada)
12 - Riscos de acidente químico devido às substâncias envolvidas	As substâncias envolvidas têm riscos baixos de acidente químico	As substâncias envolvidas têm riscos moderados/elevados de acidente químico

Fonte: retirado de RIBEIRO; MACHADO, 2012.

Comparativamente às métricas holísticas anteriores, a Matriz Verde permite um aprofundamento nos conhecimentos e nos modos de cumprimento dos princípios da QV. Por outro lado, sua construção é mais trabalhosa e, por não ser uma métrica gráfica, a compreensão dos resultados demanda a leitura do texto produzido, não sendo imediata, o que constitui uma limitação da métrica (MACHADO, 2014).

A última métrica holística a ser apresentada é a Estrela Verde. Essa é uma métrica gráfica, no formato de uma estrela com pontas que representam os 12P da QV que são

considerados na análise uma situação. Cada ponta representa um princípio da QV e o comprimento da ponta corresponde ao grau de cumprimento do princípio. Para avaliação da verdura química:

“quanto a cada um dos 12 princípios relevantes é realizada segundo critérios pré-estabelecidos e traduzida por uma pontuação de 1 a 3, crescente com a verdura, com os seguintes significados:

- 3) Plenamente verde (caso ideal: composto, reação etc., benigno);
- 2) Moderadamente verde (aceitável, embora com algumas restrições);
- 1) Ausência total de verdura química (casos malignos ou vermelhos)” (MACHADO, 2014, p.203).

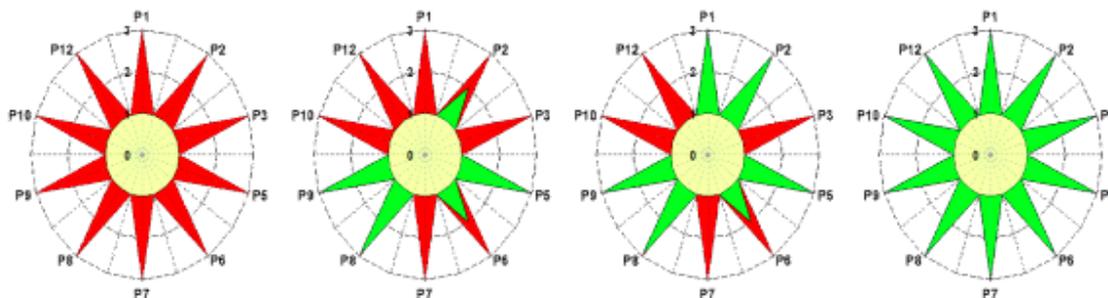
A definição da quantidade de pontas que a Estrela Verde deve ter está relacionada à relevância de dado princípio para cada situação. Se um princípio não se aplica, ele é ignorado e excluído da estrela. Para a construção da estrela devem ser seguidos diversos critérios e passos. De acordo com Machado (2014), quando se tratar de sínteses laboratoriais, deve-se seguir a seguinte sequência:

- 1 - Pesquisar todas as substâncias envolvidas na síntese (reagentes, produtos, solventes etc.);
- 2 - Para cada uma das substâncias, devem ser pesquisados os perigos potenciais a partir das fichas de dados de segurança:
  - a) riscos à saúde humana, ao meio ambiente e de acidentes;
  - b) renovabilidade (se é obtida de matérias-primas renováveis ou não);
  - c) degradabilidade (mais difícil de obter).
- 3 - Pontuação das substâncias: cada substância é pontuada de acordo com alguns critérios para o cumprimento de cada princípio (essas informações podem ser consultadas na tabela 16 pág. 208 de Machado (2014));
- 4 - Construção da estrela: a partir das informações obtidas é traçado automaticamente um gráfico do tipo radar.

Quando as atividades laboratoriais a serem analisadas não são de síntese o número de princípios a ser considerado para a construção da estrela é de apenas seis pontas, pois os princípios P2, P3, P8 e P9 se referem a reações de síntese (DUARTE, 2016).

Na figura 3 são mostrados alguns exemplos de como são as estrelas depois de prontas.

**Figura 3.** Construção da estrela verde.



Fonte: PIRES (2013, p. 9).

Machado (2014) lista algumas vantagens do uso da Estrela Verde na avaliação de sínteses laboratoriais que comprovam a utilidade dessa métrica:

- 1) [...] é sensível a variações da verdura de massa das reações, particularmente em experiências sucessivas em que se variam as proporções estequiométricas dos reagentes;
- 2) [...] avaliação da verdura química de uma reação a partir do protocolo (sem realizar a experiência), desde que ele seja razoavelmente completo;
- 3) [...] permite comparações semiquantitativas da verdura química por mera análise visual;
- 4) [...] proporciona também como resultado da avaliação um valor numérico, o IPE (0 a 100), útil em certas situações em que a comparação visual é equívoca;
- 5) [...] por simples inspeção visual, indica os princípios que permitem identificar os aspectos experimentais a serem revistos para se conseguir uma maior verdura química;
- 6) [...] é de construção simples (embora nem sempre seja fácil ou mesmo possível obter todos os dados requeridos para realizá-la);
- 7) [...] é sensível aos diversos aspectos que influenciam a verdura química de uma reação porque...
- 8) [...] atende a todos os princípios da Química Verde em jogo na situação avaliada, de forma global e sistêmica;
- 9) [...] é uma métrica holística (MACHADO, 2014, p.214-215).

Apesar de sua construção ser mais trabalhosa quando comparada às outras métricas holísticas, os resultados obtidos com a Estrela Verde proporcionam identificar facilmente aspectos possíveis de melhoramento para aumentar a verdura do processo e, por sua natureza gráfica, a comparação entre diferentes rotas para escolhas mais verdes são facilitadas.

Relacionando as reflexões realizadas neste capítulo sobre métricas de massa e métricas holísticas, percebe-se que as métricas de massa da QV têm um alcance limitado em relação à verdura química, pois não fornece dados sobre os riscos, tanto para a saúde quanto para o ambiente, envolvidos nos processos. Em contrapartida, as métricas holísticas propõem-se a avaliar a verdura química total dos processos, e ao envolver os 12 princípios permite um maior aprofundamento e melhor uso dos mesmos. No Quadro 4 abaixo, Machado (2014) apresenta uma comparação entre os diferentes aspectos da verdura química avaliados pelas métricas holísticas e de massa.

**Quadro 4** - Comparação dos aspectos da verdura química avaliados pelas métricas holísticas e pelas métricas de massa.

Aspecto	Métricas Holísticas	Métricas de massa
Rendimento	N	Fator E, MI, RME, AU, XEE
Massa de resíduos	N	Fator E, MI
Massa de solventes (água incluída)	N	Fator E, MI
Natureza dos resíduos	S	N
Natureza dos solventes	S	N
Eficiência energética	S	N
Uso de matérias-primas renováveis	S	N
Redução de derivatizações	S	N
Natureza dos catalisadores	S	N
Degradabilidade das substâncias	S	N
Riscos para a saúde humana	S	N
Riscos para o ambiente	S	N
Riscos de acidente químico	S	N

**Fonte:** MACHADO, (2014, p.222).

Legenda: a) N= não, S:=sim. b) MI= Intensidade de Massa; RME= Eficiência de Massa da Reação; UA= Utilização Atômica; XEE= Eficiência Elementar.

O Quadro 4 mostra, de maneira objetiva, que as métricas holísticas possuem uma maior abrangência de aspectos da verdura química em relação às métricas de massa, mas ainda assim, há aspectos não alcançados por ela, como os três primeiros dessa lista, o que incentiva o uso das diferentes métricas em conjunto, paralelamente (MACHADO, 2014).



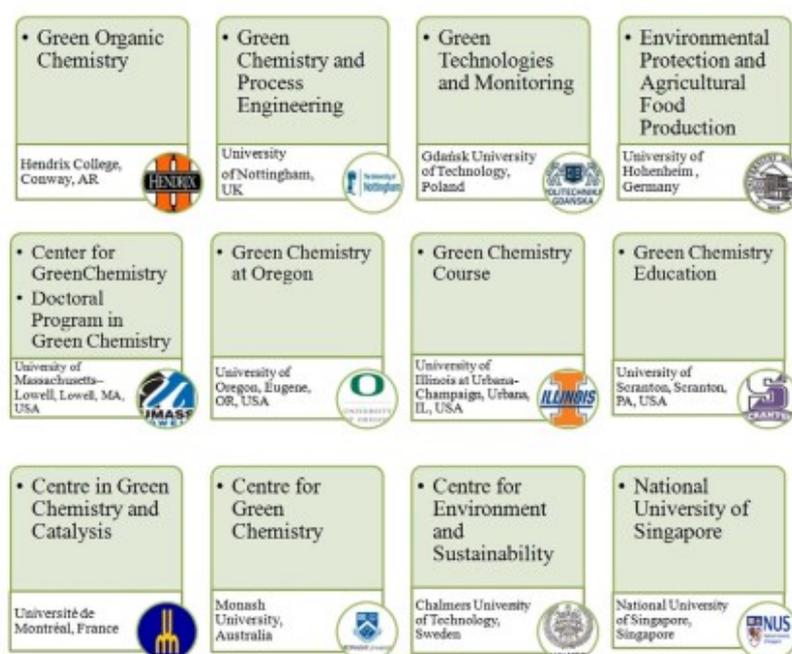
### 3 O ENSINO DA QUÍMICA VERDE

Neste capítulo discute-se sobre a importância do ensino da QV e do ensino de Química numa perspectiva de cuidados com o ambiente. Nesse sentido, parte-se de considerações no panorama internacional sobre esse tema em publicações que destacam a presença e/ou a ausência de propostas e relatos de experiência com o ensino da QV. Segue-se a exposição perpassando aspectos de normativas curriculares dos cursos de graduação em Química em documentos oficiais nacionais (BNCC, diretrizes e parâmetros nacionais), com ênfase, entre outros, em indicativos sobre a inserção da dimensão ambiental e sua relação com a Química, para a formação dos químicos.

#### 3.1 A PRESENÇA E IMPORTÂNCIA DO ENSINO DE QV

Tanto na literatura quanto em conferências de educação Química tem havido muito debate sobre o ensino de QV, se ele deve ocorrer dentro dos cursos de Química já existentes ou como um curso autônomo (ANDRAOS; DICKS, 2012; CANN; DICKNEIDER, 2004). De maneira geral, é crescente o número de instituições que estão incluindo conceitos de QV em seu currículo. Płotka-Wasyłka *et al.* (2018) apresentam uma figura que será retratada abaixo (Figura 4) onde são representadas instituições que incluem conceitos de QV em seus currículos. Os autores também destacam que um dos pioneiros nesta área foi a Faculdade de Química da Universidade de Tecnologia de Gdansk, na Polônia.

**Figura 4.** Instituições selecionadas que incluem conceitos de QV em seus currículos



**Fonte:** Retirado de PLOTKA-WASYLKA *et al.*, 2018, p. 2849.

Nessa instituição foi criado, em 1992, um programa denominado Proteção Ambiental, o qual foi ofertado em inglês para alunos dos cursos de Química e Engenharia Química. Esse curso incluía disciplinas obrigatórias relacionadas à proteção do meio ambiente, como proteção da água, do ar e do solo, também como tecnologias e engenharia de sistemas de proteção ambiental, materiais pró-ecológicos, regulamentos ambientais, fontes de energia não convencionais, dentre outros. Além disso, elementos de conhecimento ambiental foram incluídos em muitos outros cursos obrigatórios. Pensando em atender necessidades globais, a instituição decidiu criar um programa de Tecnologias Verdes e Monitoramento, ao invés de apenas proteção ambiental. Assim, essa substituição atenderia a tendência da ciência e tecnologia de introdução de conceitos de QV, já que essa nova abordagem enfatiza aspectos da QV de prevenção de problemas ambientais, ao invés de tratá-los (PLOTKA-WASYLKA *et al.*, 2018).

Desde então têm sido publicados diversos modelos de inserção da QV no currículo, assim como alguns exemplos de cursos mais abrangentes em fase de desenvolvimento, os quais serão discutidos a seguir. As discussões se aprofundam sobre as vantagens e desvantagens de cada um desses métodos, porém o objetivo geral, que deve ser o de ensinar QV e seus princípios, acaba ocorrendo independente do modo como acontece a aplicação. Assim, qualquer que seja a estrutura que esteja funcionando na instituição, esta deve ser defendida e incentivada (KENNEDY, 2016).

É importante destacar a necessidade da inserção da QV no ensino como uma alternativa na busca de uma sociedade sustentável, pois, como afirma Jacobi (2007):

O caminho para uma sociedade sustentável se fortalece na medida em que se desenvolvam práticas educativas que, pautadas pelo paradigma da complexidade, apóiem para a escola e os ambientes pedagógicos uma atitude reflexiva em torno da problemática ambiental. Na medida em que o tema da sustentabilidade confronta-se com o paradigma da “sociedade de risco”, isso demanda a necessidade de se multiplicarem as práticas sociais baseadas no fortalecimento do direito ao acesso à informação e à educação em uma perspectiva integradora. (pág. 57).

Sabemos que só por meio da educação a ciência pode obter resultados favoráveis no que diz respeito a atitudes referentes à preservação do meio ambiente, logo, é necessário que a QV seja ensinada nas diversas esferas do ensino da Química. Pesquisas realizadas na área destacam uma expansão sobre o quantitativo das publicações de QV (COSTA; RIBEIRO; MACHADO, 2008; SOUSA-AGUIAR *et al.*, 2014). Porém, como afirmam Marques e Machado (2018), ainda existem dúvidas sobre diversos aspectos, e os autores destacam que estas versam sobre

como deve ocorrer a organização da QV dentro da Química e, conseqüentemente, dentro dos currículos, pois existe uma dificuldade em reconhecê-la como um novo campo interdisciplinar quando da orientação de investigações e inovações relacionadas à prevenção ambiental. Os autores ressaltam que estes aspectos contribuem para atrasar o oferecimento de um novo tipo de educação química e que o caminho para uma melhor compreensão e formulação de propostas sobre o ensino da QV parte de um reconhecimento mais profundo da diversificação e aumento de tópicos de interesse da QV.

Quando pensamos na questão curricular e na inserção das questões ambientais no âmbito da formação de professores de Química, Pereira *et al.* (2009) apontam para um quadro preocupante, pois, segundo os autores, durante a formação inicial são poucas as oportunidades oferecidas aos alunos para construir uma sólida e ampla compreensão dos fenômenos químicos e suas relações, sendo estas sociais, econômicas e culturais. Ou seja, como apontam Marques *et al.* (2013), as componentes curriculares na formação de professores de Química apontam certa predominância dos conteúdos específicos (orgânica, inorgânica, analítica etc.). De certa maneira, os entendimentos e as formas de organização das componentes curriculares podem ter sua origem nas fortes influências das visões epistemológicas difundidas nos processos de formação inicial. Entendimentos empiristas positivistas e suas relações com o “método científico” e a racionalidade ligada à eficiência técnica e econômica podem ser alguns dos fatores que acabam deixando em segundo plano os aspectos ligados ao meio ambiente, logo, dificultando a inserção das questões ambientais, e conseqüentemente da QV, na formação de professores.

Por outro lado, há de se levar em consideração que a QV requer uma profunda reformulação no sentido de transformar a Química tradicional, que é enraizada na racionalidade técnica e em um pensamento linear, em uma busca pelo alcance de uma atitude sistêmica, complexa e holística, levando em conta o todo e necessitando da inserção de discussões sobre os complexos problemas ambientais e a apropriação de uma visão epistemológica contemporânea, flexível e transdisciplinar (MACHADO, 2011). Isso tudo requer dos docentes um processo transformador de estruturas complexas e estáveis, sendo necessária reconstrução e desconstrução em vários sentidos, atitudes e comportamentos, esquadrihando de forma íntima as práticas diárias e, sobretudo, as atividades profissionais, estabelecendo-se assim, uma nova forma de compreender e atuar no mundo. (LEFF, 2010).

Com relação à transversalidade dos currículos, Pitanga (2016) elenca algumas características que deve ter a QV, com objetivos de reorientar o ensino de Química, o qual deve passar a ser:

(...) um processo para toda a vida e ser implementada em todos os contextos; ser interdisciplinar; promover o pensamento crítico, holístico, complexo e a capacidade de resolução de problemas; recorrer a uma diversidade metodológica; promover a compreensão científica e tecnológica das problemáticas abordadas; reger-se por princípios e processos democráticos; ser orientada por e para valores (PITANGA, 2016, p. 154).

Karpudewan, Ismail e Roth (2012), sugerem possíveis consequências positivas decorrentes da implementação do ensino da QV. Eles argumentam que essa inclusão pode superar algumas limitações observadas atualmente na educação ambiental, uma vez que esse novo enfoque de ensino tem o potencial de estimular o pensamento crítico dos alunos em relação à resolução de problemas. Além disso, incentiva uma mudança de perspectiva, levando os alunos a analisarem os problemas da sociedade em um contexto global, em vez de restrito ao âmbito local.

Outros autores também destacam a importância da inserção da QV nos currículos. Zuin (2011) faz isso quando afirma que há duas dimensões de concepção na QV, a saber:

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

De acordo com esse excerto, compreende-se que a primeira concepção implica um conhecimento técnico, que se materializa no emprego dos 12P da QV como uma ferramenta para a inserção de práticas mais verdes, porém sem discutir as relações entre a sociedade e o ambiente, ou seja, abordagens rasas que não contestam de modo mais profundo as correspondências da Química com o ambiente e a sociedade. Assim, sustenta-se uma Racionalidade Técnica a qual, segundo Barbosa (1999) *apud* Sandri (2019), oferece busca de soluções para problemas de maneira mecânica e destituída de questionamentos sobre as consequências das ações tomadas diante de certas situações.

A segunda concepção apresenta uma vertente crítica, que considera a relação sociedade-natureza e toda a sua complexidade, agindo para o enfrentamento dos problemas relacionados

às atividades da Química, pois leva em consideração que as ações da Química geram consequências socioambientais e, assim, é possível oportunizar uma educação ambiental crítica e uma formação para a cidadania.

Ainda nesse sentido, Płotka-Wasyłka *et al.* (2018), apontam diversas perspectivas significativas na educação da QV e defendem que esta deve ser ensinada em todas as esferas, com o objetivo de calçar a sociedade rumo à sustentabilidade. Os autores propõem o ensino na área de humanidades, vinculando a QV em campos como o do direito e ética, por exemplo, ou mesmo o “esverdeamento” de cursos nestes campos.

Marques e Machado (2018) salientam que uma educação QV seria ampliada e realçada se estivesse arraigada na formação de uma cultura ecológica a partir da escola, em consenso com a educação ambiental, o que requer um reposicionamento de todas as instâncias científicas, tendo em vista uma abordagem interdisciplinar e uma visão crítica da ciência atual - não reducionista, contextualizada e integrada nas dimensões social, histórica e política. Já Sjöström, Eilks e Zuin (2016) consideram a necessidade de uma formação eco-reflexiva para a ambientalização curricular da formação em Química, dentro de uma perspectiva da sustentabilidade.

Perosa, Gonella e Spagnolo (2019), afirmam que, quando perguntados sobre quais fatores contribuem para que uma reação ou produto químico seja “bom”, pouquíssimos alunos de graduação irão considerar aspectos como quantidade de resíduos gerados durante o processo, a toxicidade dos reagentes e produtos, ou o impacto da reação à saúde humana e ao meio ambiente. Dito isso, os autores defendem que:

“(…) embora o treinamento científico fundamental esteja na base de um químico competente, um químico com boa formação deve ser capaz de olhar holisticamente para um processo ou produto químico e entender seu impacto nos seres humanos e no meio ambiente a partir do impacto da produção a montante acessibilidade dos recursos, o que é útil para mapear as interconexões entre química, meio ambiente e sociedade em geral.” (tradução nossa). (PEROSA, GONELLA e SPAGNOLO, 2019, p. A).

Kennedy (2016) relata em seu artigo sobre uma disciplina eletiva em QV que aborda os 12P da QV e destaca sua importância no exercício de se evitar erros cometidos no passado. A metodologia de ensino dessa disciplina é baseada em estudos de caso, mapas conceituais, e também no desenvolvimento de materiais didáticos de QV pelos próprios alunos que cursam a disciplina. Hutchison (2019) apresenta e discute a integração curricular da QV em uma disciplina de química orgânica experimental, destacando o que ele chama de “pontos de

alavanca” que viabilizam a evolução para um currículo mais verde, que seriam identificação e reforço dos bons resultados e a busca de parcerias na própria instituição e também fora dela. Alguns autores (GOODWIN, 2004; CLARK; STOCK; ZOVINKA, 2012; HAMILTON *et al.*, 2013; JOSEPHSON, 2019) discutem em seus trabalhos propostas de roteiros de práticas experimentais em laboratórios de ensino, e a partir destes roteiros a discussão das vantagens e desafios da QV em relação ao meio ambiente e à sustentabilidade, assim como nas questões de segurança de laboratório.

Apesar de reconhecer a importância dessas propostas de inserções pontuais, alguns autores as criticam, sugerindo em vez disso que a QV seja incorporada de forma integral ao currículo. Por exemplo, Cann e Dickneider (2004) indicam algumas limitações para a criação de disciplinas de QV, já que estas, geralmente, são oferecidas como disciplinas eletivas, logo, apenas para um pequeno público, o que pode dar uma ideia errada de que a QV se resume a uma disciplina em si mesma. Já na Universidade de Toronto, no Canadá, os conceitos de QV e sustentabilidade vêm sendo integrados ao currículo da graduação em Química há quase duas décadas, segundo o que relatam Dicks *et al.* (2019). Os conceitos de QV têm sido inseridos gradualmente, em uma perspectiva sistêmica, por meio de tópicos em disciplinas introdutórias do curso e também pela criação de uma disciplina intitulada Técnicas de Química Verde, que envolve professores e uma organização fundada por alunos de graduação e pós-graduação, chamada Iniciativa Química Verde (Green Chemistry Initiative - GCI). Ainda seguindo esse aspecto mais abrangente, La Franier *et al.* (2016) descrevem o que eles chamam de programa de assistência cocurricular para o primeiro ano da graduação em Química, também na Universidade de Toronto, que, além de diversos outros assuntos, também apresenta tópicos introdutórios sobre QV, e ainda recebe membros da GCI que são convidados a falar aos alunos iniciantes sobre a importância da QV e o que ela significou para eles durante a graduação.

Kitchens *et al.* (2006), discutem que os benefícios resultantes da incorporação dos conceitos de QV são significativos e ainda são aplicáveis a todos os níveis de ensino, pois estes conceitos possibilitam a criação de um vínculo entre o que é estudado em sala de aula e o ambiente cotidiano dos alunos, indo além das discussões sobre poluição e aquecimento global, por exemplo. São abordados aspectos de sustentabilidade do design de produtos de consumo, eficiência energética, impactos ecológicos da bioacumulação, dentre outros. Com a inclusão total dos conceitos de QV os alunos poderão desenvolver habilidades de relacionar os conceitos químicos ao “mundo real” e em suas carreiras.

Kitchens *et al.* (2006) também acreditam que a QV não deveria substituir os materiais já existentes ou ser ensinada como uma seção separada dentro da Química, mas, ao invés disso, o que já é ensinado deve ser ensinado de uma nova maneira, incorporando os conceitos-chave da QV no currículo, para tornar a Química inerentemente verde. Para isso, os autores identificaram uma série de conceitos que devem ser usados para aprimorar os currículos de Química, separando-os e apresentando-os como: Conceitos gerais, Química, Engenharia e Assuntos globais. No que diz respeito aos conceitos gerais, os autores afirmam que a “QV não se destina a ser uma disciplina individual, mas sim um meio para conduzir a ciência de maneira responsável, (...) e apenas o impulso constante para melhorias levará a um futuro sustentável.” (KITCHENS *et al.*, 2006 - tradução nossa). No que diz respeito à Química, os autores destacam quatro pontos importantes:

- Não é possível rastrear o destino de cada composto químico usado e gerado em uma reação ou processo. Produtos químicos ambientalmente benignos são, portanto, altamente desejáveis.
- As reações não devem ser avaliadas apenas com base na conversão e seletividade, mas também na eficiência, sustentabilidade, reciclabilidade, degradação e eliminação ou redução do perigo.
- A conexão entre a estrutura química e a atividade do composto deve ser deixada clara para os alunos. Funcionalidade química (estéricos, eletrônicos, hidrofobicidade/filicidade, toxicidade) podem fornecer uma compreensão básica de como os produtos químicos impactam o meio ambiente.
- Uma compreensão aprimorada da ecotoxicidade e do destino e do transporte de produtos químicos liberados no meio ambiente é essencial para a avaliação geral das substâncias químicas. (KITCHENS *et al.*, 2006 - tradução nossa).

Os autores destacam que não é uma tarefa simples e fácil incluir esses conceitos em um currículo que já está cheio, mas que ensinar o que já existe de uma nova maneira, provavelmente seja a maneira mais eficaz de alcançar essa evolução, então um currículo que complemente os ensinamentos atuais com os 12P da QV (mas não só!) pode ser um primeiro passo para promover o ideal de que a QV é inerente à Química e, ainda, preencher as lacunas existentes entre a sala de aula e o meio ambiente global (KITCHENS *et al.*, 2006).

Os autores concluem o artigo destacando que a QV requer uma consciência interdisciplinar, ou seja, é necessária uma abordagem multidisciplinar para o ensino da QV e esta permite que os alunos desenvolvam uma comunicação interdisciplinar desde o início de suas carreiras, assim promovendo esforços no sentido de atacar os problemas e desenvolver tecnologias sustentáveis com consciência global (KITCHENS *et al.*, 2006).

Gross (2013) afirma que desde seu início, a QV tem sido inserida nos currículos por meio de experimentos de laboratório, por meio de inserções em materiais de sala de aula ou no

desenvolvimento de cursos e palestras. Em seu artigo a autora descreve um curso sobre QV desenvolvido para o Programa de Honras da *Creighton University*, em Omaha, nos Estados Unidos (<http://www.creighton.edu/ccas/honorsprogram/>). Puderam participar desse curso alunos ganhadores dessa honra que estavam no segundo ano de diversas graduações ou níveis superiores e de uma variedade de disciplinas e de especializações, portanto, o curso foi elaborado com uma abordagem multidisciplinar e intitulado Química Verde e Sustentabilidade. Os objetivos de aprendizagem do curso eram para o aluno:

- Aprender alguns conceitos fundamentais da química e como eles são aplicados à química verde.
- Apreciar como a ciência, especialmente a química, está ligada ao destino da Terra.
- Comunicar princípios científicos, políticas e ideias propostas para um público geral e científico.
- Apreciar como as ações ou omissões humanas afetam a Terra e seus habitantes.
- Tornar-se proficiente em ler, interpretar e fazer julgamentos críticos sobre tópicos da literatura científica.
- Desenvolver as habilidades técnicas e de redação necessárias para escrever uma proposta de pesquisa (GROSS, 2013 - tradução nossa).

A organização do curso foi baseada nos 12P da QV e categorizada por três temas: energia, poluição e prevenção de resíduos, e segurança.

Marteel-Parrish (2007) descreve uma disciplina de tópicos especiais de QV no *Washington College*, em Chestertown, nos Estados Unidos. É uma disciplina teórica criada especialmente para alunos da área de ciências que já cursaram química geral e orgânica e que estão interessados no futuro do planeta. Essa disciplina foi planejada com o objetivo de que os alunos tivessem oportunidade de aprender sobre a QV e seus efeitos no meio ambiente e na raça humana. A autora afirma que: “O uso de exemplos do mundo real ilustra como o pensamento criativo e a solução de problemas podem gerar benefícios substanciais para a academia e a indústria, incentivando os alunos a olhar para o desenvolvimento sustentável, tanto local quanto globalmente” (MARTEEL-PARRISH, 2007). Ao final do curso, o objetivo é que os alunos sejam capazes de avaliar criticamente as decisões políticas de uma maneira ambientalmente consciente, usando os conhecimentos adquiridos nos estudos sobre QV.

Diante do exposto, conclui-se que a introdução da QV nos currículos dos cursos de graduação em Química é muito importante e necessária, pois esses alunos que estão sendo formados se tornarão profissionais de química atuantes nas indústrias, na docência, em órgãos governamentais que elaboram legislações, e necessitarão de conhecimentos suficientes para tomar decisões relativas ao uso de certos tipos de reagentes químicos pelas indústrias, quais

tipos de produtos de uso doméstico devem ser elaborados para uso da população ou até mesmo serão os responsáveis por elaborar as legislações referentes ao destino dos resíduos, dentre tantas outras decisões que impactam diretamente na nossa sociedade e meio ambiente. Logo, o conhecimento dos riscos e meios para evitá-los deve ser algo primordial na formação desses profissionais (CANN e DICKNEIDER, 2004).

### 3.2 A EVOLUÇÃO NO ENSINO DA QUÍMICA POR MEIO DO ENSINO DA QUÍMICA VERDE

Assim, entende-se que a formação do químico numa perspectiva de cuidados com o ambiente precisa passar por mudanças, as quais podem encontrar nos princípios e nas produções da QV uma fonte inspiradora e substantiva, tanto teórica quanto prática. São considerações que seguem sendo apontadas na literatura e também, em certo grau e medida, em documentos oficiais curriculares e nas produções acadêmicas.

Alguns autores (COSTA, 2018; ROLOFF, 2016; ZANDONAI *et al.*, 2013) discutem em seus trabalhos que a QV é um tema (ainda) pouco debatido em sala de aula do ensino superior e que, mesmo quando se considera aspectos relacionados ao contexto atual das questões ambientais e sua inserção nas instituições de ensino, as discussões sobre os princípios e fundamentos da QV ainda são limitadas, focando mais em inserções pontuais em atividades práticas como uma exemplificação e não tendo o devido espaço para discussões e aprofundamentos que são tão necessários quando se almeja uma educação em QV.

Já Saqueto (2015), em seu trabalho de doutoramento defende que a QV deve estar presente nas diversas áreas da química, não necessariamente como uma disciplina específica, mas perpassando por todas elas. Outros autores (HJERESSEN *et al.*, 2000; BRAUN *et al.*, 2006; ANASTAS *et al.*, 2007) defendem que para que os profissionais da Química desempenhem suas atribuições de forma satisfatória é necessária a introdução da QV nos currículos. Ferreira *et al.* (2019) alegam que trabalhar na perspectiva da QV é uma forma de promover a educação ambiental, além de possibilitar ao aluno mudanças no comportamento e nas concepções individuais, pois a partir do momento que se compreende a noção de impactos que as ações individuais podem provocar no meio ambiente, passa a ter mais significado a noção de cuidados, preservação e respeito pelo ambiente em que vivem e, nesse processo de ensino, tanto a contextualização quanto a experimentação passam a ter papel fundamental.

O desencadeamento das preocupações com as questões ambientais dentro das instituições de ensino superior ao longo dos anos ocorre desde meados da década de 80, em

consequência das diversas conferências a nível mundial e também de encontros nacionais e regionais, que instigaram esses debates. Diante desses acontecimentos, todos os sistemas de ensino foram desafiados a instituir medidas e mecanismos para incorporar a temática ambiental em seu contexto (FARIAS, 2008).

De maneira mais específica, no que se refere à educação superior, foram estabelecidos caminhos, desde a década de 90, para que as questões ambientais estejam presentes nesse nível de ensino. Reigota (2007) destaca que, em muitas instituições de ensino superior, já houve a superação dessa barreira e que a temática ambiental tem sido bem aceita no meio dos professores, sendo discutida em diversos departamentos.

Diante da necessidade dessa inserção da temática ambiental, estudiosos têm chamado a atenção para o processo de ambientalização curricular (FARIAS, 2008; ZUIN, 2011). Acredita-se que a ambientalização do currículo, especialmente dos cursos de Licenciatura em Química, é uma demanda para formar educadores químicos que sejam realmente preocupados com as questões ambientais e, mais do que ter a preocupação, o importante é formar profissionais que tenham conhecimento científico e químico para poder tomar decisões diante dos desafios ambientais que a sociedade atual os impõe (SILVA e FARIAS, 2017).

Também Pinto *et al.* (2009) anuem com a necessidade de uma revolução na formação dos profissionais que atuam no campo da Química e, para isso, eles apontam possíveis caminhos como, por exemplo, a construção de novos currículos e estruturas de ensino e aprendizagem, defendendo a introdução, de forma transversal, dos princípios da QV, da sustentabilidade e atuação responsável nestes novos currículos. Eles ainda afirmam que:

A Química Verde deve deixar de ser apenas um conceito, para ser uma atitude responsável, em que a atividade química não agrida o meio ambiente, eliminando-se ou minimizando-se, ao máximo, a produção de rejeitos e de solventes agressivos ao meio ambiente. Para tanto, precisamos “inocular” nos estudantes e profissionais o “comportamento verde” (PINTO *et al.*, 2009, pág. 568).

Pesquisadores em ensino de química concordam que as ações didático-pedagógicas devem contemplar o pensamento do estudante além dos aspectos sócio-científicos, como por exemplo as questões ambientais, políticas, sociais, econômicas, éticas e culturais relacionadas à tecnologia e ciências, tanto no ensino superior quanto no ensino médio (SCHNETZLER, 2002; PINHEIRO *et al.*, 2010). Para tornar o currículo dos cursos de Química mais sustentável, Pinto *et al.* (2009) afirmam que se faz necessário que a interdisciplinaridade e a sustentabilidade estejam presentes em todo o processo de formação do químico, pois destes fatores depende a criação do “comportamento verde”.

O CGEE (2010) (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos) afirma que as propostas de introdução de novos conceitos e valores que a QV impõe às atividades fundamentais da Química e também a todos os setores das atividades econômicas e industriais relacionadas, se ampliou a tal ponto de envolver a IUPAC e a OCDE, no que diz respeito ao estabelecimento de diretrizes para o desenvolvimento da QV em nível mundial.

Como no agronegócio brasileiro existe a real oportunidade para agregar valor às matérias-primas renováveis com a inovação química que a QV propõe, o CGEE (em conjunto com representantes da comunidade científica e tecnológica nacional, incluindo empresas) têm desenvolvido estudos dos principais temas relacionadas com a QV para compor uma proposta de desenvolvimento da QV no Brasil, com temas relacionados às diversas produções industriais já desenvolvidas no país. A ideia é agrupar o que já vem sendo realizado isoladamente em alguns programas:

"Tendo em vista promover a Química Verde no país como uma estratégia de desenvolvimento sustentável nacional, tendo a pós-graduação nacional, notadamente as áreas da biologia, química e engenharia química, como o patamar deste salto científico e tecnológico. Trata-se de uma proposta madura e bem centrada nas potencialidades nacionais" (CGEE, 2010, pág 11).

Obviamente que é perceptível nesse documento do CGEE (2010) o interesse comercial no desenvolvimento e implementação da QV e, como destaca Marcelino (2020), é necessário refletir em que extensão esse valor econômico pode influenciar as práticas e também a forma de pensar a QV. Porém, importante destacar que, segundo o CGEE (2010), para que ocorra a efetivação da QV na matriz produtiva brasileira, há de se passar pelo fortalecimento da educação em QV em todos os níveis, incluindo a formação de profissionais pelas indústrias.

Para isso são propostas algumas ações, dentre elas destaca-se a criação de uma Escola Brasileira de QV e a estruturação de uma Rede Brasileira de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em QV. Este é um passo importante, visto que valoriza e incentiva o desenvolvimento de pesquisas e também na formação de profissionais de alto nível para a QV, e nesse caso, o papel da pós-graduação é imprescindível, como foi identificado por Zuin (2013) onde coordenadores de cursos de pós-graduação em Química no Brasil afirmam que o fator limitante para a consolidação da QV no país perpassa pela necessidade de formação de profissionais capacitados.

De acordo com Sousa, Silva e Costa (2020), a QV é compreendida como uma comunidade de ensino "já que envolvem diversas redes, programas e projetos em todo o mundo na direção da ambientalização curricular", e assim a QV tem caminhado para sua consolidação

como uma nova maneira de pensar e agir na Química, atuando no ensino para a preparação das novas gerações de químicos.

Enquanto é necessário que isso ocorra, muitos questionamentos são levantados quando se pensa em qual a melhor forma de ensinar a QV e, segundo González *et al.* (2015) e Mestres (2010) citados por Sousa, Silva e Costa (2020), estes questionamentos podem ser: como ela deve ser incluída no currículo, qual pode ser a melhor forma para essa inserção, quais conteúdos devem estar presentes nessas propostas, quais características eles devem ter, dentre tantos outros questionamentos válidos, pertinentes e complexos, quando se considera a criação/elaboração de uma nova matriz curricular.

Na tentativa de responder a esses questionamentos, alguns autores apresentam sugestões de como pode ocorrer a inserção da QV nos currículos, e em seguida são citados alguns deles. Goes *et al.* (2013) apresentam uma proposta de abordagem da QV no ensino superior, como sendo: 1) incorporação de princípios da QV em atividades experimentais em aulas práticas; 2) incorporação de estratégias da QV como conteúdo disciplinar; e 3) uso de questões da QV associadas aos aspectos sociocientíficos. Parece que há uma certa defesa por parte dos autores pelo modelo 3, já que este possibilita discussões de valores e princípios da QV e os integra ao contexto social e econômico.

Porém, essa relação parece que se dá no enfoque de promover o desenvolvimento sustentável: “A importância desse tópico [a QV], além do aprendizado de conceitos básicos de química, relaciona-se à capacidade para participar do desenvolvimento da sociedade, tal como discutido nos termos do ensino para o desenvolvimento sustentável” (GOES *et al.*, 2013, p. 115). A crítica que se faz aqui é sobre o enviesamento da educação. O desenvolvimento sustentável é um termo polissêmico, que representa um campo de práticas e conhecimentos variados que precisam ser delimitados e definidos para não caírem na manutenção de uma racionalidade econômica travestida de ambiental/verde. Será que isso estaria ocorrendo com a QV?

O trabalho de Goes *et al.* (2013) apresenta relevância ao analisar as relações entre os conhecimentos pedagógicos de cada disciplina e a forma como a QV é abordada no ensino: quanto mais conhecimento do conteúdo e conhecimento pedagógico do conteúdo, mais complexa e coerente se tornará a introdução da QV no ensino. Isso também aponta para a necessidade que viemos discutindo até aqui, de se pensar a QV na formação de professores de Química, surgindo o questionamento: quais são as limitações e possibilidades pedagógicas da QV?

Ancorada nas concepções apresentadas por Zuin (2011) e no trabalho de Burmeister, Rauch e Eilks (2012), onde os autores apresentam a visão geral de quatro diferentes modelos para integrar e compatibilizar questões de sustentabilidade com a educação em química, envolvendo a abordagem QV, Sandri e Santin Filho (2019) propõem e apresentam três modelos de abordagem da QV. Segundo Sandri e Santin Filho (2019, pág. 38): “nosso foco foi identificar e apontar quais modelos melhor se alinham com a perspectiva crítica da Química Verde e podem, assim, contribuir para atingir os objetivos mais amplos da educação, e em particular da educação científica a saber: a Alfabetização Científica e formação para a cidadania.”

Neste sentido, a autora apresenta a essência de cada um dos modelos. No Modelo 1 os pressupostos da QV são abordados somente sob a perspectiva da experimentação, onde o docente coloca em prática a adoção dos princípios da QV de forma qualitativa, não sendo necessárias mudanças curriculares, apenas mudanças em relação aos produtos químicos empregados nas atividades experimentais. Apesar de esta ser uma maneira que possui certo potencial quando da sua inserção no ensino de Química, este potencial é restrito pois não pressupõe discussões com os alunos de forma mais crítica (SANDRI, 2019).

O Modelo 2 pressupõe a inserção da QV para além de experimentos no laboratório, passando ao tratamento teórico de conteúdos químicos, adoção de métricas na análise dos procedimentos. Neste tipo de abordagem se faz necessário o envolvimento dos alunos tanto na análise dos processos quanto na tomada de decisão para a escolha de processos em que se obtenha a maior verdura química, por exemplo. Este tipo de abordagem também pressupõe a busca por uma contextualização mais crítica e em contextos mais amplos da Química. Exige também um bom preparo desses docentes para compreender que a inserção dos princípios da QV se dá em diversos conteúdos de Química (SANDRI, 2019).

Sendo considerado como o mais abrangente, está o Modelo 3, onde a abordagem didática se baseia em novas racionalidades, em que há a necessidade de um esforço para que haja a articulação dos conhecimentos químicos com questões sociocientíficas, ambientais, políticas e econômicas. Além de questionar o papel da ciência e da tecnologia nos avanços sociais e ambientais, também reconhece e questiona as limitações da ciência, dentre elas, da própria QV. Porém, o professor capaz de adotar esse modelo é aquele que está alinhado com correntes pedagógicas críticas, construtivistas, capazes de romper com a rigidez do ensino tradicional. A autora defende que esse modelo exige profunda transformação na prática de ensino em Química, sendo considerado um ideal a ser perseguido (SANDRI, 2019).

### 3.3 O QUE DIZEM OS CURRÍCULOS DOS CURSOS DE QUÍMICA?

Uma “janela” indicativa sobre o reconhecimento por parte dos químicos – que seguramente foram envolvidos com a elaboração de diretrizes curriculares nacionais – diz respeito à necessidade de que o estudo, a abordagem e o tratamento de problemas ambientais estejam presentes na formação do químico, portanto, no currículo de Química. Todavia, se por um lado é extremamente positivo o reconhecimento sobre a importância de a Química tratar dessa problemática diante à crise ambiental, de outra parte isso traz um desafio enorme, por exemplo: em que perspectiva, que temas são mais relevantes e, especialmente, de que modo a Química pode e deve contribuir tanto em evitar tais problemas quanto aportar soluções aos mesmos?

O que logo acima é salientado, recolhendo discussões e proposições na literatura, foi que a QV pode contribuir na formação de um “novo” químico, cuja racionalidade teórica e/ou prática seja adensada com compromissos éticos de cuidados com o ambiente. Zuin e Marques (2015) afirmam estarem convencidos de que o principal aspecto em se ensinar QV desde níveis escolares, como no ensino médio, está em se reconhecer que, desde muito cedo, os jovens precisam ser “treinados” para ponderar, a partir de um ponto de vista ambiental consciente, sobre a vida em sociedade, o futuro profissional e o desenvolvimento de valores ambientais. Tudo isto se relaciona com estudos a partir da ciência química, pois o estudo da composição natural e as consequências inevitáveis das ações humanas com e sobre o meio ambiente certamente auxiliam os alunos na compreensão e conseqüentemente em pensar (e agir) de forma a protegê-lo. Neste mesmo estudo, Zuin e Marques (2015) apresentam que há a defesa por parte de pesquisadores de universidades públicas brasileiras de que a QV deva ser incluída nos currículos de formação de professores de diferentes formas e intensidades, e enfatizam que isso deva ocorrer de forma transversal nos currículos. De acordo com Zuin *et al.* (2009) a incorporação da dimensão ambiental no currículo dos cursos de Química – ou o que a autora chama de ambientalização curricular –, expressa um modo de compreender a própria QV, onde a mesma não está limitada apenas à atividades de ensino, mas também de pesquisa, extensão e, em uma dimensão pouco abordada, de gestão.

Ao buscar estar em consonância com as mudanças necessárias aos currículos de ensino de Química na educação básica e de formação de professores de Química, há o desenvolvimento e ampliação de políticas, no Brasil e no mundo, relacionadas à questão da educação ambiental. Desde a década de 1980, quando foi publicada a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), definida pela Lei 6.938/81 (BRASIL, 1981), já havia essa preocupação, porém esta lei não

mudou muita coisa na prática, as abordagens continuaram sendo simplistas e apenas de caráter ecológico. Porém, o parecer 819/85 do Ministério da Educação corroborou a necessidade de inclusão de conteúdos ecológicos integrados a todas as áreas do conhecimento, e ao longo de todo o processo, de maneira que possibilitasse a formação da consciência ecológica nos futuros cidadãos.

Seguindo os avanços das questões ambientais no cenário nacional, a Constituição Federal do Brasil, promulgada no ano de 1988 (BRASIL, 1988), dedica todo um capítulo para a Educação Ambiental, fortalecendo e mencionando a importância do meio ambiente para a nação, estabelecendo em seu artigo 225 que:

Art. 225: Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações;

§ 1º - Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público: VI - promover a Educação Ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente.

Cumprindo os preceitos constitucionais e a realização das recomendações da Agenda 21, em 1994 o Ministério da Educação (MEC), o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) que eram os responsáveis pelas ações relacionadas ao sistema de ensino e também à gestão ambiental, elaboraram a Proposta do Programa Nacional de Educação Ambiental (PRONEA). Seguindo a mudança de concepção curricular do ensino formal que se deu de acordo com a perspectiva da nova Lei de Diretrizes e Bases (LDB, Lei 9.394/96) (BRASIL, 1996), a Educação Ambiental passou a ser obrigatória na Educação Básica.

Enquanto isso, em 1997, o MEC aprovou os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) (BRASIL, 1997), os quais incluíram a Educação Ambiental como tema transversal em todas as disciplinas do currículo. Como consequência dessas mudanças, o MEC elaborou novos documentos como os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) e os Parâmetros Curriculares Nacionais Mais (PCN+), que serviriam como orientadores do trabalho docente na escola, levando em conta uma nova perspectiva, mais integradora. De maneira geral, os PCNEM propõem que o aluno seja preparado para o exercício da cidadania, e que o processo de ensino-aprendizagem se dê a partir de situações problemáticas reais (BRASIL, 1999). Já nos PCN + (BRASIL, 2002) há destaque para a contextualização, para que haja a produção de aprendizagens mais significativas, e que os problemas escolares sejam coerentes com os conhecimentos e com os acontecimentos do cotidiano, tanto locais quanto globais. E em 2004 o programa PRONEA, citado acima, produziu um documento que sintonizava as ações do

governo para a criação de políticas e programas de Educação Ambiental a nível estadual e municipal (BRASIL, 2005).

Vigora, atualmente, a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), instituída pela Lei nº 9.795/99, regulamentada pelo Decreto nº 4.281/02 (BRASIL, 1999, 2002), que segundo Zuin (2011) “preconiza a incorporação da dimensão ambiental, de forma interdisciplinar, nos diferentes níveis e modalidades de ensino, de caráter formal e não formal, de maneira integrada, contínua e permanente.” Ou seja, segundo Oliveira (2014),

Esta Lei veio justificar porque a Educação Ambiental deve permear todos os níveis e modalidades de ensino, ou seja, na educação escolar a Educação Ambiental deve ser estar presente nos currículos e ser desenvolvida nas instituições de ensino públicas e privadas, na educação básica, educação superior, especial, profissional, educação de jovens e adultos, através de uma prática integradora, contínua e permanente, não devendo ser implantada como disciplina específica, a não ser no ensino não-formal ou em cursos de pós-graduação (pág. 22).

Já em relação ao ensino superior, os cursos de licenciatura em Química iniciados antes de 2002, na maioria das instituições de ensino superior brasileiras, eram organizados no sistema conhecido como 3+1, com um núcleo comum de disciplinas com o bacharelado em Química mais disciplinas de formação pedagógica e, apenas no final do curso, as disciplinas práticas de formação de professores. Esse modo de organização foi responsável pelo modo de tratamento das disciplinas como fragmentos, como se os assuntos fossem independentes. Por consequência, isso se reproduz(ia) também no Ensino Médio, gerando listas de conteúdos que deveriam ser abordados em cada um dos respectivos anos (GARCIA; KRUGER, 2009).

Como toda a formação já havia sido em um modelo fragmentado, de disciplinas isoladas, os professores em atuação (e também aqueles em formação) não estavam preparados para todas as mudanças orientadas pelos PCNs. Para agir diante desse novo problema, em 2001 foram editadas as Diretrizes Curriculares para os cursos de Química (DCQ), o que proporcionou uma reformulação curricular dos cursos de Química do país (BRASIL, 2001). Essas diretrizes estabelecem a necessidade de haver coerência entre a formação e a prática do professor, sendo que o processo de aprendizagem deve ocorrer em situações e lugares similares aqueles em que vai atuar, de forma que haja construção de conhecimentos, valores e habilidades, e que estes estejam relacionados com a realidade (BRASIL, 2002).

Em 2002, o presidente do Conselho Nacional de Educação instituiu as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da educação básica, em nível superior, em curso de licenciatura de graduação plena. Essa resolução estabelece as diretrizes normativas e os princípios orientadores que devem nortear a organização curricular dos cursos de formação de professores, visando assegurar a qualidade e a efetividade na preparação dos profissionais

da educação básica. Entre os pontos abordados estão a contextualização da formação docente, a interdisciplinaridade, a prática de ensino e estágio supervisionado, além de outros aspectos fundamentais para a formação de professores (BRASIL, 2002). Essas diretrizes trouxeram uma nova perspectiva para a formação de professores, permitindo uma maior diversidade nos modelos de cursos. Apesar dos progressos, conforme apontado por Freitas (2002), essas diretrizes não responderam às demandas do campo educacional. A ênfase nas competências e a limitação do papel docente ao cuidado com a aprendizagem indicam uma visão simplificada e tecnicista do ensino, caracterizada por uma formação rápida.

Em 2015, as DCN foram substituídas por uma nova versão (DCN/2015), que provocou transformações nas instituições formadoras e nos currículos das licenciaturas. As DCN-2015 baseiam-se em concepções mais críticas, enxergando os professores como sujeitos "formativos de conhecimento e cultura", dotados de "valores éticos e políticos". Essas diretrizes propuseram uma visão de valorização profissional que integrava formação inicial e continuada às condições de trabalho e carreira, em consonância com as perspectivas de autores como Diniz-Pereira (2015) e Nóvoa (2017). Além disso, houve um aumento na carga horária (3.200 horas) e no tempo mínimo para conclusão dos cursos (quatro anos). O desenvolvimento dessas políticas indicava uma direção voltada para a criticidade, autonomia e novas oportunidades nos cursos de licenciatura.

Em 2019, novas DCN para a formação de professores foram instituídas, marcando a terceira diretriz em menos de 20 anos, refletindo os avanços e disputas no campo da formação de professores. Conforme claramente indicado no parecer de 2019, as DCN têm o objetivo manifesto de estabelecer coerência entre a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e a formação de professores. Além disso, há uma manifesta preocupação com o desenvolvimento de competências nas licenciaturas, aspecto que estava presente nas DCN/2002 e havia sido superado nas DCN/2015.

### 3.4 O IMPULSIONAMENTO DA QV POR MEIO DAS TRANSFORMAÇÕES CURRICULARES

Percebendo os avanços relacionados, mais especificamente, ao ensino de Química, surgiram áreas de estudo nesse campo, que com o tempo foram transformadas em disciplinas. Uma delas foi chamada de Química Ambiental, que estuda os processos químicos que ocorrem na natureza, e que comprometem a saúde humana e do ambiente como um todo, quer sejam de causa antropogênica ou não (MOZZETO *et al.*, 2002). Diante dessa demanda, na SBQ, em

1994 foi criada a Divisão de Química Ambiental (AMB), pois alguns sócios fundadores, pertencentes a outras divisões da SBQ sentiam que suas pesquisas mereciam um espaço próprio de debate, devido a sua natureza inter e transdisciplinar. Conforme consta do editorial contido na página URL da Divisão:

“A Química Ambiental, assim como qualquer outra área clássica da Química, pode ser definida de várias maneiras. Para nós, a Química Ambiental estuda os processos químicos que ocorrem na natureza, sejam eles naturais ou ainda causados pelo homem, e que comprometem a saúde humana e a saúde do planeta como um todo. Assim, dentro desta definição, a Química Ambiental não é a ciência da monitoração ambiental, mas sim da elucidação dos mecanismos que definem e controlam a concentração das espécies químicas candidatas a serem monitoradas.

Dentro desta premissa, a Química Ambiental expande os horizontes da química convencional dando a ela uma dimensão sócio-econômica, além de propiciar parcerias encantadoras com outras áreas do conhecimento como a toxicologia, a engenharia sanitária e a biologia.

Sendo assim praticada, a Química Ambiental revive a Química como uma ciência natural, atua como vetor de sua descompartmentalização e certamente deve ser encarada como a ferramenta mais poderosa no resgate da importância da Química como uma das ciências que mais benefícios têm trazido ao homem.”

Desde que a preocupação com os danos causados ao meio ambiente começou a eclodir pelo mundo, surgiram diversos encontros e conferências para tratar deste assunto, e muitas ações foram tomadas no sentido de amenizar os danos causados pela poluição, de maneira geral. Muitos programas foram criados pelos governos, financiamentos de pesquisas foram incentivados para que as prática químicas passassem a considerar o efeito causador de poluição e que isso fosse diminuído. Além de ocorrer no âmbito governamental e industrial, isso passou a ocorrer nas universidades também, com o surgimento de grupos de pesquisa preocupados em reduzir os impactos no meio ambiente.

Diante das mudanças referentes à legislação e aos currículos, e também devido a escalada dos problemas ambientais que derivam uma série de implicações econômicas, são necessárias diferentes abordagens para o ensino de Química, impondo novos desafios aos profissionais da área. Segundo Zoller (2005) estes desafios são: passar para um ensino interdisciplinar, que desenvolva o pensamento crítico e seja globalmente abrangente, baseado em resolução de problemas e tomada de decisões. Como todas estas demandas são semelhantes às características presentes na Química Ambiental, espera-se que esta ocupe um papel de fundamental importância na formação dos químicos, e a perspectiva adquirida no estudo da mesma deverá ser o orientador da atuação do profissional de Química em quaisquer que sejam as áreas, seja no sistema produtivo industrial, seja como educador, em todos os níveis de ensino.

Ao longo do tempo, as preocupações com os problemas ambientais que potencializaram o desenvolvimento da Química Ambiental se intensificaram e tomaram outras proporções, além

de pensar nos danos que a Química poderia causar no ambiente, e com especificidades relacionadas ao Desenvolvimento Sustentável e à Sustentabilidade. Com isso, esta nova maneira de pensar a Química passou por a ser chamada de diversas formas diferentes, que, inicialmente, eram tidas como sinônimos, tais como: Química Limpa, Química Sustentável, Química para o Desenvolvimento Sustentável, dentre outros. Essas diferentes denominações culminaram no termo mais amplo e difundido atualmente, conhecido como Química Verde (QV) (MACHADO, 2004).

Junto com o termo surgiram diferentes práticas e compreensões sobre o significado do mesmo, porém, de acordo com Machado (2004) “este termo refere-se à prática da química, nomeadamente da Química Industrial, com objetivos de obter a priori proteção intencional do ambiente e da saúde da biosfera, incluindo os humanos (...)” Desta maneira, compreendemos este novo termo como relacionado à prevenção da poluição, e ainda segundo Tundo *et al.* (2000) a QV “é a criação, o desenvolvimento e aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias tóxicas”.

Com o advento da QV surgiram diversas pesquisas e esforços focados nas produções industriais, e em 1998 Anastas e Warner publicaram o livro “*Green Chemistry: Theory and Practice*”, onde anunciaram os Doze Princípios da QV, os quais agrupavam muitos dos conceitos e movimentos anteriores e a partir dos quais as pesquisas e práticas Químicas passaram a se basear.

Concomitantemente ao que ocorria no mundo, no Brasil começam a surgir diversas iniciativas relacionadas à QV, como palestras proferidas por professores pesquisadores pioneiros nessa nova modalidade em diversos eventos nas universidades, há a criação de escolas de verão, como na UFSCAR e USP. Há também a organização de workshops sobre QV e, apesar de os maiores interesses sobre a temática estarem concentrados nos laboratórios de pesquisas voltados à prática industrial, aos poucos a QV passa a ser inserida e ensinada primeiramente em cursos de pós-graduação e, posteriormente, nos cursos de graduação em Química.

Há que se considerar que, ao longo dos anos, a QV tem se modificado em relação ao que foi inicialmente formulado pelos precursores, mais de 30 anos atrás. Pode-se considerar, por vários elementos até aqui apontados, o que indica que a caracterização da QV, no âmbito de seus conceitos e identidade, mudaram com o seu crescimento (MARQUES; MACHADO, 2021). Marcelino, Pinto e Marques (2020) apresentam em sua pesquisa que há uma mudança no campo da QV, tendo evoluído de práticas que estavam mais focadas no uso de catalisadores, uso de solventes alternativos, reações sem solvente, recuperação de solvente, líquidos iônicos,

para especialidades como uso de biomassa, caracterização da QV, e dióxido de carbono como substrato, sendo estes últimos as principais frentes de pesquisa. Até mesmo em relação aos autores, como Anastas e Sheldon, que passaram a ter um papel transversal dentro do campo como *hub* (um nó que seleciona, agrupa e dissemina informações pela rede) e autoridades intelectuais (um nó que fornece conteúdo de relevância em uma rede), respectivamente, tendo grande atuação e um significado especial na fundação e divulgação das práticas de QV.

Desde seu início, a QV tem enfrentado desafios para ser ensinada e praticada. Como já discutido anteriormente nesse texto, Plotka-Wasyłka *et al.* (2018) destacam alguns deles como, por exemplo, a necessidade da conscientização no campo da QV, pois apesar de haver uma crescente nessa conscientização, a maior parte advinda das indústrias e da academia, também tem havido preocupações nesse sentido do público em geral, e o desenvolvimento e a introdução de novas metodologias e produtos ecologicamente corretos fazem parte das exigências de qualquer nação industrializada no mundo. Porém, essas iniciativas não são tão intensas, nem os debates tão frequentes nas nações em desenvolvimento, pois em grande parte delas a consciência ambiental significa muito pouco para os cidadãos.

Em 2016, Roloff concluiu um estudo e discutiu em seu trabalho de levantamento e análise de teses e dissertações sobre QV (defendidas entre os anos de 2002 e 2014 em programas de pós-graduação em Química, Educação e Educação Científica e Tecnológica), que apenas 14 trabalhos abordavam diretamente o ensino de QV. Dentre as preocupações encontradas sobre o ensino da QV nestes trabalhos, uma delas é de que QV tenha repercussão no ensino de Química, principalmente na formação de professores.

Outra questão que se apresenta é de que as pós-graduações são um espaço crucial para que sejam discutidas e aprofundadas as questões relacionadas ao ensino de QV. Mas, além das preocupações relativas ao fato de que essas inserções devam existir nesses espaços, Zuin (2013) salienta que um dos pontos que limita o fortalecimento da QV no país, segundo uma pesquisa com coordenadores de cursos de pós-graduação em Química brasileiros, é que haja formação de profissionais que sejam capacitados para isso, ou seja, não há suficiente formação em QV (para os profissionais brasileiros) para que sejam formados com essa perspectiva de modo a se tornarem formadores que trabalham com a QV na formação de químicos, então o ciclo não evolui como esperado pois esbarra-se constantemente nessa limitação.

Relacionado a essa limitação, tem-se uma pesquisa realizada por Pitanga (2015), sobre a inserção das questões ambientais em um curso de licenciatura em Química, onde ele relata

que um percentual muito grande, em torno de 80%, dos docentes entrevistados para sua pesquisa afirmaram desconhecer os 12P da QV, mesmo que quando questionados de forma mais aprofundada e detalhada indicavam praticar alguns dos princípios da QV em suas atividades, porém isso ocorre de modo inconsciente, pois como desconhecem os princípios e conceitos de QV não são capazes de se aprofundar nessas discussões e, conseqüentemente, não inserem a QV em seu cotidiano como docente e pesquisador. Esse resultado corrobora com o já apresentado por Zuin (2013), que ressalta a importância de haver profissionais formados em e sobre QV, pois essa é a principal forma de inseri-la no ensino de química.

Zuin e Marques (2015), em uma pesquisa que discute tendências de QV no Brasil, reconhecem que, em certo nível (de qualidade, intensidade e abrangência), as escolas brasileiras incluem temas e conteúdos relacionados ao meio ambiente e isso se dá principalmente por meio de iniciativas conhecidas como educação ambiental. A partir de pesquisas e de produção científica, nota-se que o papel da educação ambiental envolve assuntos variados, como discutir a crise e a degradação ambiental, práticas de reciclagem, e questões que envolvem as relações socioeconômicas e mudanças climáticas.

Mas, mesmo com essas contribuições, especificamente na disciplina de Química no ensino médio, essas abordagens ainda são muito incipientes, sendo aplicadas em poucas escolas e em poucas regiões do país. Nessa mesma pesquisa, os autores partem de um questionamento: “Por que ensinar QV no ensino médio?”, o qual respondem dizendo que precisamos reconhecer que os jovens precisam ser formados desde cedo para pensar a vida social e o futuro trabalho profissional a partir de um ponto de vista que seja ambientalmente consciente para que assim desenvolvam valores que se baseiam em estruturas científicas que sejam relacionadas ao meio ambiente, pois, a partir disso e dos estudos sobre a composição natural e das conseqüências inevitáveis das ações humanas com e sobre o meio ambiente, poderão ajudar na compreensão de que é necessário protegê-lo e que a Química também é uma ciência que se preocupa com a natureza e a vida.

Portanto, a Química deve fornecer respostas e para que isso aconteça é necessária uma reavaliação dos seus paradigmas, ou seja, a adoção de um outro tipo de racionalidade científica, e isso exige que a formação profissional seja diferenciada, para aqueles que estão em formação e também para aqueles que já atuam. São mudanças relacionadas a uma nova forma de olhar a relação entre Química e meio ambiente, e que esta seja voltada para a sustentabilidade (socio)ambiental (ZUIN; MARQUES, 2015).

Marques *et al.* (2020), discutem alguns aspectos relacionados aos entraves para o desenvolvimento da QV, como o fato de ter levado tanto tempo para que evoluíssem as compreensões em relação aos 12P, já que estes eram usados individualmente e reconheceu-se que eles deveriam ser praticados em conjunto, porém esse reconhecimento se deu sem detalhes de como isso deveria ocorrer na prática, já que essa mudança diz respeito às interações entre os princípios, mas também não há menção em relação a atitude sistêmica que essa nova gestão dos 12P exige.

Os autores destacam também a já citada complexidade da Química, que dificulta o enfrentamento das questões relativas à sustentabilidade, reconhecendo que, apesar do aumento da produção científica crescente e diversificada de QV, as produções relativas às experiências curriculares e de ensino da mesma ainda são lentas. Os autores validam essas informações com dados coletados em pesquisa realizada na base de dados *Web of Science* pelo termo Química verde e seus derivados, que resultou em 10.540 documentos (distribuídos entre artigos, resenhas e editoriais) publicados nos anos de 1990 a 2018.

Quando os autores acrescentam ao termo de pesquisa palavras relacionadas à educação, aprendizagem, ensino e seus derivados, a busca recupera apenas 344 documentos (artigos, revisões, materiais editoriais). Apenas os números dos resultados dessa busca corroboram com a informação de que as pesquisas em Educação em QV são incipientes quando comparadas à própria QV. Para a análise que realizaram, Marques *et al.* (2020) fizeram um levantamento e selecionaram artigos sobre educação em QV publicados no *Journal of Chemical Education* (JCEd) até o ano de 2019, utilizando o termo “Química Verde” nos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos. Após devidas filtrações dos resultados, essa pesquisa resultou em 286 textos que foram categorizados e analisados pelos autores.

As análises retornaram diversos resultados apresentados por Marques *et al.* (2020), e aqui destacamos alguns: primeiramente, os resultados mostram que a maioria dos trabalhos são relacionados a experimentos e, algo interessante de ser notado é que, embora os trabalhos mencionam empregar novas práticas, às quais chamam de QV, poucos trabalhos aprofundam ou problematizam a forma como são desenvolvidas essas práticas em situações de ensino.

Ou seja, apesar de terem sido publicados em um periódico especializado no ensino de Química, em geral os trabalhos não detalham pontos de vista pedagógicos, nem as situações de ensino. Assim, as justificativas do trabalho giram em torno de evidenciar que o uso da QV está relacionado às preocupações da Química com o meio ambiente e a sustentabilidade, porém não

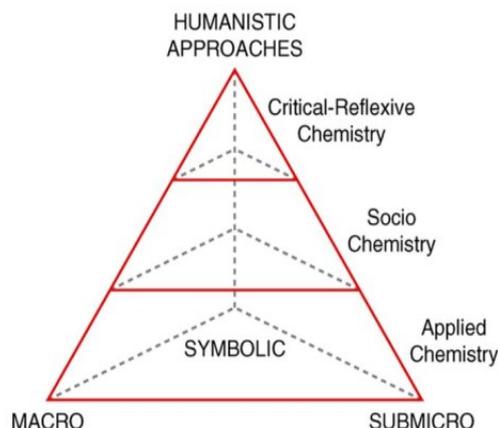
discutem detalhes ou formas de como tais práticas realmente podem contribuir com o aumento da verdura química. De forma resumida, os autores afirmam que, como as experiências e propostas de ensino nem sempre foram apresentadas de forma detalhada sobre como efetivamente podem ser aplicadas, isso indica algo como “podemos saber como fazer, mas ainda não como fazê-lo” (MARQUES *et al.*, 2020, p. 1519 - tradução nossa).

Por meio dessa pesquisa, Marques *et al.* (2020), afirmam que os objetivos iniciais da pesquisa não foram alcançados, pois os resultados obtidos foram insuficientes para identificar tendências metodológicas próprias ao ensino de QV. Mas, os autores recorrem à literatura para mostrar que existem possibilidades e caminhos a serem percorridos para uma educação em QV. Para isso, elencam alguns desses aspectos, como:

No aspecto curricular, a abordagem CTSA e a ambientalização dos programas de ensino e currículos de química devem ser considerados como um todo. Em relação à maior ecoeficiência técnica, os 12P continuam sendo uma referência importante, mesmo que haja poucas pesquisas sobre uma abordagem integrada a eles; além disso, ainda podem ser insuficientes para o tão esperado alcance do verdor químico. O compromisso da QV com a sustentabilidade também precisa incorporar os aspectos sociais e científicos expressos nos 17 Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável da ONU. Quanto aos aspectos epistemológicos, uma análise mais consistente de como construir uma visão sistêmica das aspirações da QV – desde o design da molécula até os processos do produto e ciclos de vida no meio ambiente—, e sempre com o apoio de métricas consistentes, podem ajudar a sua consolidação como uma mudança na racionalidade dos produtos químicos e seus efetivos compromissos com a sustentabilidade (MARQUES *et al.*, 2020, p. 1519 - tradução nossa).

Todos esses elementos citados são importantes para o ensino de uma Química eco-reflexiva em uma perspectiva humanística e a formação de um profissional da Química de acordo com essas perspectivas necessita de uma base que entrelaça várias dimensões do conhecimento (MARQUES *et al.*, 2020). Nesse sentido, Sjöström e Talanquer (2014) destacam áreas, conhecimentos e perspectivas que professores devem considerar para desenvolver (e implementar) abordagens humanísticas para o ensino de Química. Sjöström (2013) propôs um tetraedro (baseado no Tetraedro de Mahaffy, 2006), que é representado na Figura 5, onde ele inclui diferentes níveis de complexidade na análise e discussão de aspectos humanísticos no ensino de Química.

**Figura 5.** Tetraedro de Sjöström, incluindo diferentes níveis de complexidade na análise e discussão do elemento humano.



**Fonte:** Sjöström, J.; Talanquer, V.; J. Chem. Educ. 2014, 91, 1125).

Partindo da base, o primeiro nível deste tetraedro, identificado como Química Aplicada, descreve abordagens para o ensino de Química que inserem o elemento humano, ou seja, se concentram em questões do cotidiano e diferentes aplicações da Química, sendo caracterizado com aspectos pragmáticos da disciplina. No segundo nível, aumentando a complexidade, denominado Sócio-Química, abrange o ensino de Química que inclui abordagens focadas na avaliação do desenvolvimento e usos de conhecimentos, práticas e produtos químicos, assim como a compreensão da inserção sociocultural do trabalho e das ideias científicas. Já no topo do tetraedro, denominado como Química Crítico-Reflexiva, há o envolvimento dos alunos em uma análise reflexiva de perspectivas históricas, filosóficas, sociológicas e culturais problematizando os saberes e as práticas da Química, com ênfase em seus valores e direcionada para a ação transformadora. De maneira geral, como pano de fundo desse tetraedro, estão as características dos aspectos disciplinares e formais da Química, e os diferentes níveis de complexidade na análise representada na Figura 3 se relacionam com as diferentes perspectivas da formação em CTS (SJÖSTRÖM; TALANQUER, 2014).

Aprofundando um pouco mais em cada nível, Sjöström e Talanquer (2014) consideram que a base do tetraedro, Química Aplicada, engloba abordagens de ensino e aprendizagem voltadas ao desenvolvimento do conhecimento disciplinar fundamental da Química, ou seja, privilegiam a ciência pura e abstrata, e tendem a enfatizar a manipulação de símbolos e fórmulas, o que leva os alunos a desenvolver um raciocínio baseado em regras e modelos. Nesse nível as ideias, práticas e produtos químicos não tendem a ser problematizados e, quase sempre, são apresentados como benéficos para o ser humano, totalmente desconectados de suas implicações sociais, ecológicas e econômicas. Então, o papel da Química na sociedade se reduz a um nível instrumental, com poucas e superficiais relações com o cotidiano e ausência (quase

a totalidade) de discussões e análises das questões centrais que impulsionaram o desenvolvimento de ideias e práticas químicas.

No segundo nível de complexidade do tetraedro, Sócio-Química, Sjöström e Talanquer (2014) afirmam que é possível identificar duas grandes abordagens educacionais, a primeira é a sócio-histórica, que é orientada para a análise epistemológica (e sociológica) do desenvolvimento do conhecimento químico, ou seja, nessa vertente, a Química como disciplina é percebida como uma realização humana e os esforços são no sentido de orientar para uma compreensão de um desenvolvimento histórico do conhecimento de Química, com o objetivo de mostrar que os fatos e teorias químicos têm uma origem, não fazem parte do acaso, e são um produto cultural, o qual está sujeito à mudanças (à luz de novas evidências).

A segunda abordagem é a sociocientífica, que enfatiza a tomada de decisão baseada na ciência sobre aplicações da Química em geral nas sociedades modernas. Exemplos desse tipo de abordagem incluem análises e discussões (de conceitos transversais) sobre questões sociais e ambientais relevantes, que incluem riscos, custos e benefícios sociais, econômicos e ambientais das práticas químicas e de seus produtos para as sociedades modernas. É esperado que uma abordagem sociocientífica seja proativa, que foque em discutir e usar modelos da Química para prevenir problemas e buscar soluções. Os autores perpassam por alguns exemplos que podem ser utilizados nesse tipo de abordagem e afirmam que os esforços educacionais na área de QV também se enquadram nesse nível humanístico, pois se concentram nas discussões sobre a produção, uso e descarte de produtos químicos, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais.

Chegando ao topo do tetraedro, Química Crítico-Reflexiva, Sjöström e Talanquer (2014) reconhecem que esse nível inclui reflexões sócio-críticas sobre o papel da Química na sociedade, assim como reflexões de cunho crítico-filosófica sobre produção e aplicação do conhecimento da Química. Aqui pode-se identificar duas principais abordagens educacionais: “a) sociocultural-filosófica, que é orientada para a compreensão e problematização de ideias e práticas científicas (incluindo práticas de sala de aula) e (b) sociopolítica-ética, que enfatiza a tomada de decisão ideologicamente e informada e a ação sobre questões na interface entre a ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente” (SJÖSTRÖM; TALANQUER, 2014, p. D - tradução nossa). Assim, nesse nível da Química Crítico-Reflexiva, dentre vários aspectos discutidos:

A história da ciência e da química, juntamente com a prática de pesquisa química contemporânea, são abordadas de maneiras multifacetadas, trazendo à tona as questões centrais que impulsionaram o desenvolvimento de ideias e práticas químicas e analisando criticamente os relatos históricos tradicionais do desenvolvimento do conhecimento químico (SJÖSTRÖM; TALANQUER, 2014, p. E - tradução nossa).

Ao concluírem seu trabalho, Sjöström e Talanquer (2014) refletem que sua análise pode ser usada como ponto de partida para avaliar quanto da dimensão humanística é incorporada no ensino de Química, ajudando a identificar onde e como pode ser fortalecida a presença dessa dimensão no ensino. Também destacam que, apesar de terem descrito diferentes perspectivas humanísticas com níveis distintos, como exibido na Figura 2, é possível que os currículos apresentem características mistas, ou seja, incluam elementos de diferentes perspectivas.

Outro destaque extremamente relevante dos autores está no entendimento de que os professores precisam desenvolver uma ampla gama de entendimentos sobre Química e Educação Química para conseguir implementar com sucesso uma educação Química onde se incorporam perspectivas humanísticas. Sendo assim, antes de formar alunos críticos, é necessário que os professores sejam críticos, que possuam formação e conhecimento sobre a história e filosofia da Química, dos contextos políticos, éticos, ambientais e econômicos onde o conhecimento da Química é desenvolvido e aplicado. Também reivindica conhecimento pedagógico do conteúdo, para que integre compreensões da Química com os contextos.

Corroborando com essa ideia, na conclusão de sua pesquisa, Marques *et al.* (2020) concordam que uma formação Química crítico-reflexiva é algo fundamental para a constituição de uma racionalidade ambiental dentro da comunidade Química. Porém, os autores elencam que existem muitos obstáculos para que se chegue nesse patamar, como:

o discurso modernista sobre a Química; o otimismo tecnológico sobre o controle da natureza; objetivismo científico do conhecimento, que seria independente de fatores históricos e sociais; o reducionismo das propriedades das entidades, e o racionalismo da tomada de decisão estritamente “objetiva”, que desconsidera a ética e a política. Do ponto de vista do ensino de química, tais obstáculos transparecem, por exemplo, no conteúdo — cujo foco se fixa em conceitos teóricos e não na prática histórica —, e no fortalecimento teórico-contemplativo de “modos de raciocínio” e instrumentos de dominação. Portanto, envolve diferentes racionalidades, em processos constituídos histórica e socialmente, difíceis de mudar pela mera socialização de obras e ideias bem-sucedidas, exigindo formação teórica e prática.” (MARQUES *et al.*, 2020, p.1519 - tradução nossa).

Em concordância com as considerações de Sjöström e Talanquer (2014), Marques *et al.* (2020) afirmam que para englobar e tratar sobre as múltiplas dimensões da sustentabilidade, das novas práticas e conceitos propostos pela QV, há a necessidade de formação de um tipo específico de professor, capacitado com um amplo repertório sócio-político para enfrentar as questões ambientais, que seja crítico-reflexivo de forma que contribua de forma significativa para uma cultura de cuidados com o ambiente. Ambas pesquisas apontam que, se não há mudanças nas formações desses profissionais que formam, as transformações apenas nos currículos não serão suficientes.



## 4 PERCURSO METODOLÓGICO

No presente capítulo, objetiva-se descrever e apresentar quantitativamente os dados coletados. Sendo assim, apresentam-se a natureza da pesquisa, os caminhos teórico-metodológicos adotados, os critérios de seleção de informações, bem como os dados que serão analisados, isto é, a construção do corpus amostral de análise.

### 4.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa é de natureza qualitativa, interessada no percurso histórico do ensino da QV, como ela se fortalece e se intensifica com o passar do tempo, e como tem se dado sua inserção no ensino da Química, em especial, em nosso país, olhando para as instituições de ensino superior (IES). Assim, esta pesquisa é do tipo exploratória, buscando variadas possibilidades de explicação para o fenômeno em estudo, de modo que várias perspectivas metodológicas podem ser seguidas ou combinadas, para alcançar os objetivos propostos (GIL, 2008; LÜDKE, ANDRÉ, 1986).

Nesta pesquisa foi realizada uma pesquisa documental visando analisar se e como se dá a inserção da QV na formação dos químicos, que tipo de disciplinas, quais conteúdos, quais práticas científicas e fundamentos teóricos são indicados ao ensino da QV. Ou seja, buscou-se documentos oficiais curriculares, ementas e/ou planos de ensino de disciplinas sobre e de Química Verde, nos cursos de graduação em Química nas IES de nosso país.

Em uma fase inicial de busca foram encontradas 207 IES que indicavam a oferta do curso de Química. Esse é um número expressivo, mas é dividido em IES públicas de âmbito federal (universidades e institutos - 92), estadual (31), municipais (7) e instituições privadas (77). Para o levantamento de dados foi preciso estabelecer critérios específicos de modo a fazer um refinamento da totalidade das instituições para obtenção de dados coerentes, levando em consideração as IES públicas que tenham maior representatividade e relevância no cenário nacional.

Dessa forma, a fonte de dados desta pesquisa não inclui as instituições privadas pois, de acordo com uma pesquisa realizada pela *Clarivate Analytics* pelos pesquisadores Cross, Thomson e Sinclair (2018) e divulgada no relatório intitulado *Research in Brazil* disponibilizado à CAPES, as mesmas (salvo exceções) não promovem a pesquisa de maneira geral, o que significa que a produção científica de nosso país depende das IES públicas. Também não consideramos as IES municipais, pois não há informações consistentes de pesquisas sobre química e QV nestas instituições.

Ainda de acordo com o já citado relatório, em um ranking de desempenho de pesquisa das principais universidades do Brasil, apareceram apenas universidades federais e estaduais, mas nenhum instituto. Assim, o foco das buscas para obtenção de dados foi em universidades estaduais e federais que oferecem o curso de Química, nas modalidades licenciatura, bacharelado, industrial e/ou tecnológico. Segundo dados do e-MEC, o qual é constantemente atualizado (e de acordo com última consulta realizada em janeiro de 2022), ao todo existem 109 universidades federais e estaduais no país. Porém, não são todas essas universidades que ofertam o curso de Química, e apresentamos esses dados separados no Quadro 5.

**Quadro 5.** Quantitativo de universidades públicas no Brasil divididas por níveis (2022).

<b>IES</b>	<b>Total no país</b>	<b>Com curso de Química</b>
Estadual	41	33
Federal	68	59
<b>Total</b>	<b>109</b>	<b>92</b>

**Fonte:** Os autores.

Após esse levantamento, e com a listagem das universidades que ofertam cursos de Química, foi dado início à investigação nos sites dos cursos de Química das universidades elencadas. Essa busca foi feita por meio dos documentos oficiais disponibilizados nos sites dos cursos de graduação, em particular buscando as grades curriculares e/ou projetos político pedagógicos e, posteriormente, os planos de ensino e/ou ementas, usando-se as palavras-chave: “química verde”, “verde”, “sustentável”, “química limpa”, “sustentabilidade”.

Nesse momento nos deparamos com diversas dificuldades. A primeira delas é que os sites das universidades muitas vezes encontram-se desatualizados, contendo informações defasadas e/ou incompletas. O segundo é que não há um padrão para as construções desses sites, então o material disponível para consulta é variável, podendo ser encontrado (ou não) o projeto político pedagógico dos cursos, em alguns casos está disponível apenas a grade curricular, ou então apenas uma listagem das disciplinas a serem ofertadas no semestre, e alguns (poucos) possuem as ementas das disciplinas ou os planos de ensino.

Assim, desde o início da pesquisa, os sites das universidades foram revisitados várias vezes, percebendo-se que, com alguns meses de diferença, o material disponibilizado havia sido atualizado. O segundo passo foi entrar em contato direto com as universidades, por meio das secretarias dos cursos (e posteriormente diretamente com alguns professores) para solicitar os planos de ensino, as ementas e/ou outro material referente às disciplinas. Isso porque, com

frequência, encontrava-se a citação de uma disciplina relacionada à QV, porém não havia mais informações disponíveis sobre a disciplina.

Ao longo do período de busca de dados, outras formas de obtenção dos mesmos foram incorporadas para delimitar a amostra, já que muitas vezes não obtivemos resposta por meio do contato direto feito de início (via e-mail ou telefone). Então, sabendo da existência da disciplina e com a divulgação da pesquisa entre os pares, houve situações em que colegas de outras universidades compartilharam planos de ensino de disciplinas de QV, pois tiveram acesso a elas por serem alunos da instituição. Em outra situação não havia menção da disciplina na grade curricular disponível no site da universidade, mas um colega entrou em contato para compartilhar o plano de ensino da disciplina que ele teve acesso e sabia que não era de conhecimento por meio do site da universidade, ou seja, se não fosse por esse contato não seria possível o acesso à mesma.

Ocorreram ainda situações que dificultaram o acesso e a coleta dos dados. Por exemplo, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) campus Londrina, há indicação de uma disciplina sobre QV na grade curricular do curso e, quando entramos em contato com a secretaria do curso solicitando mais informações, fomos notificados de que a disciplina faz parte da grade curricular, mas nunca foi ofertada, pois é uma disciplina optativa e ofertada recentemente, por isso ainda não existe plano de ensino disponível para consulta. Enfim, consideramos situações como essas limitações da nossa pesquisa, às quais tentamos contornar com as ferramentas que encontramos e contatos que chegaram até nós.

Assim, consideradas as dificuldades relatadas, é exposto no Quadro 6 o rol de universidades públicas que oferecem curso de Química e que indicam alguma inserção da QV, totalizando 39 IES, abrangendo tanto as de âmbito federal quanto estadual. Essas instituições englobam 53 planos de ensino, uma vez que algumas IES oferecem mais de uma disciplina com inserções de QV. Outra observação a respeito dos dados obtidos é que eles são muito diversos entre si, no que diz respeito às características dos planos e ementas em si, mas também da natureza das disciplinas, sendo algumas disciplinas obrigatórias, outras optativas, algumas sendo específicas sobre QV e outras tendo inserções pontuais de QV. Devido a essa diversidade de informações, os dados serão agrupados de modo que haja conformidade para comparar parâmetros correlacionados.

**Quadro 6.** Quantitativo de IES que possuem curso de Química com indicativos de alguma inserção de QV, divididas por nível e por quantidade de planos/ementas.

(continua)

<b>Universidades*</b>	<b>Estado</b>	<b>Nível administrativo</b>	<b>Quantidade de ementas/planos de ensino</b>
UFAC	Acre	Federal	2
UFRR	Roraima	Federal	1
UNILAB	Ceará	Federal	1
UEPA	Pará	Estadual	1
UESC	Bahia	Estadual	1
UFRN	Rio Grande do Norte	Federal	1
UFBA	Bahia	Federal	1
UEFS	Bahia	Estadual	1
UEMS	Mato Grosso do Sul	Estadual	1
UFMS	Mato Grosso do Sul	Federal	2
UFGD	Mato Grosso do Sul	Federal	1
UFCAT	Goiás	Federal	1
UFMT	Mato Grosso	Federal	2
UFABC	São Paulo	Federal	2
UFF	Rio de Janeiro	Federal	1
USP	São Paulo	Estadual	6
UNICAMP	São Paulo	Estadual	3
UEMG	Minas Gerais	Estadual	1
UFU	Minas Gerais	Federal	1
UFTM	Minas Gerais	Federal	1
UFOP	Minas Gerais	Federal	1
UFSCAR	São Paulo	Federal	1
UFJF	Minas Gerais	Federal	1
UFSJ	Minas Gerais	Federal	1

**Quadro 6.** Quantitativo de IES que possuem curso de Química com indicativos de alguma inserção de QV, divididas por nível e por quantidade de planos/ementas.

(conclusão)

UNIFESP	São Paulo	Federal	1
UFES	Espírito Santo	Federal	1
UENF	Rio de Janeiro	Federal	1
UNESP	São Paulo	Estadual	1
UFPEL	Rio Grande do Sul	Federal	1
UFSC	Santa Catarina	Federal	2
UNILA	Paraná	Federal	2
UEPG	Paraná	Estadual	1
UNIOESTE	Paraná	Estadual	1
UFCSPA	Rio Grande do Sul	Federal	2
UFFS	Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul	Federal	1
UNICENTRO	Paraná	Estadual	1
UEM	Paraná	Estadual	1
UTFPR	Paraná	Federal	1
UNESPAR	Paraná	Estadual	1
<b>Total: 39 IES</b>		<b>Total: Estadual: 13 Federal: 26</b>	<b>Total: 53 planos</b>

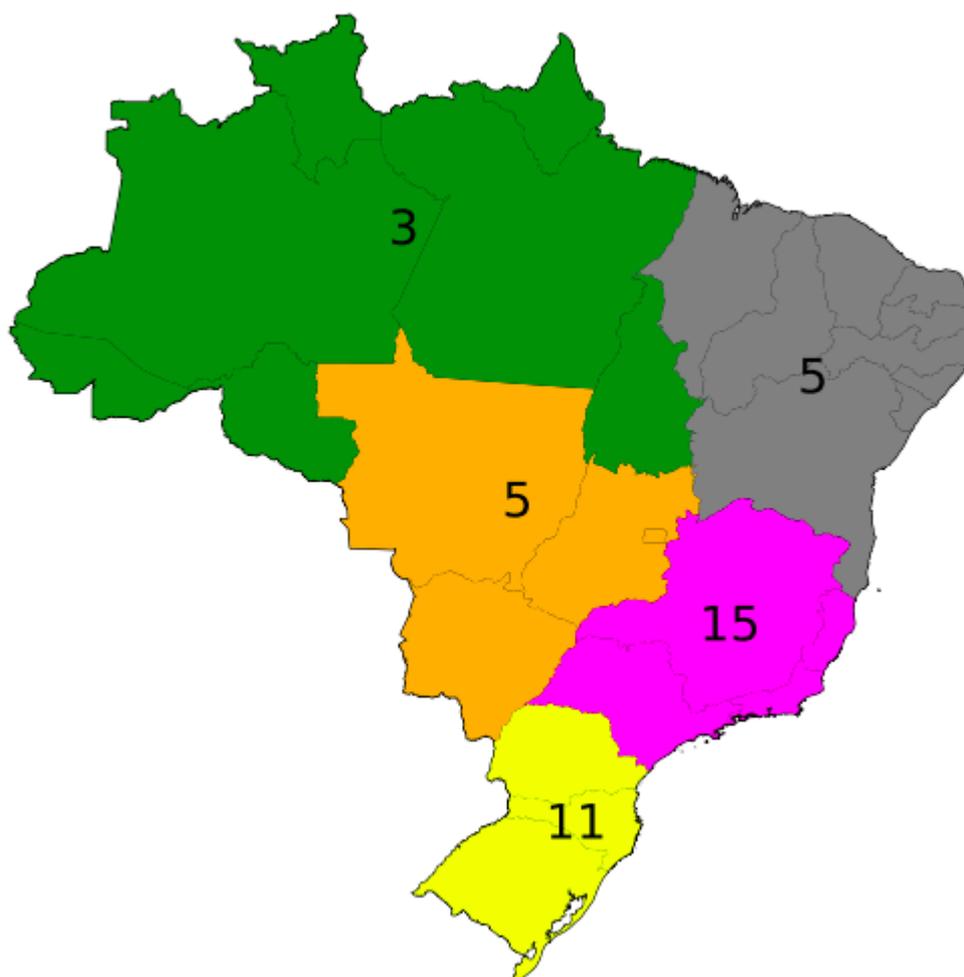
**Fonte:** Os autores. \*(O nome completo de cada IES é fornecido nos Anexos 1 e 2, assim como informações da coleta de dados).

Com base nas informações detalhadas anteriormente, nota-se a preponderância da oferta de disciplinas por IES localizadas na região sudeste do país, um aspecto também ressaltado no estudo conduzido por Almeida *et al.* (2019). Na região sudeste, 15 instituições oferecem disciplinas relacionadas à QV, totalizando 23 disciplinas, considerando que algumas IES disponibilizam mais de uma disciplina sobre o tema, como é o caso da USP, que oferece seis disciplinas. Além da concentração geográfica das IES nessa região, é importante mencionar que ela abriga instituições de ensino de renome nacional em pesquisa, o que justifica sua significativa influência. Vale ressaltar que, embora o site da UFRJ não registre a oferta de disciplinas relacionadas à QV em seus cursos de graduação em Química, a UFRJ é a sede da

Escola Brasileira de Química Verde (EBQV) desde sua criação em 2010, fundada e coordenada pelo professor Dr. Peter Rudolf Seidl até sua morte.

O mapa abaixo (figura 6) ilustra o quantitativo de IES das demais regiões do país, com destaque também para a região sul, contando com 11 IES que difundem a QV em seus cursos de graduação, totalizando 13 disciplinas em suas grades curriculares.

**Figura 6.** Quantitativo das IES que contém disciplinas *de e sobre* QV de acordo com as regiões do país.



**Fonte:** os autores.

Conforme delineado nos quadros 7 e 8 abaixo, são apresentadas as disciplinas classificadas em duas categorias distintas: aquelas que abordam diretamente a QV (Quadro 7), ou seja, aquelas que possuem esse enfoque explícito em seus nomes ou cujas ementas abordam de forma direta os princípios da QV, sendo 20 planos a serem analisados; e as disciplinas que incluem, de forma geralmente pontual, elementos da QV em seus conteúdos, as quais somam 33 planos a serem analisados (Quadro 8). Além disso, são fornecidas informações sobre a natureza das disciplinas (obrigatórias ou eletivas) e para quais tipos de cursos elas são

oferecidas (quando disponíveis). Essa diferenciação é crucial em uma análise detalhada, uma vez que o grau de profundidade e a abordagem dos conceitos de QV podem variar significativamente entre as disciplinas, ou seja, entre aquelas que apenas tangenciam a temática e aquelas que são especificamente voltadas para o estudo da QV.

**Quadro 7.** Disciplinas que tratam especificamente sobre QV

(continua)

<b>UNIVERSIDADE</b>	<b>NOME DA DISCIPLINA</b>	<b>OBRIGATÓRIA/ELETIVA</b>
UEPA	Química Verde	Eletiva para a licenciatura
UESC	Química Verde	Obrigatória para bacharelado, eletiva para licenciatura
UFBA	Tópicos em Química Orgânica: Química Orgânica Verde	Eletiva para bacharelado e Química Industrial
UFCAT	Química Verde	Eletiva para bacharelado e licenciatura
UFMT	Química Verde	Obrigatória para licenciatura
UFABC	Prática em Química Verde	Obrigatória para bacharelado
UFABC	Introdução à Química Verde e Química Sustentável	Eletiva para bacharelado
UFF	Química Verde	Eletiva para licenciatura
USP	Química Ambiental III	Obrigatória para Bacharelado em Química com Ênfase em Química Ambiental (desativada em 2019)
USP	Química Ambiental III	Obrigatória para bacharelado em Química com Ênfase em Química Ambiental (ativa)
UNICAMP	Introdução à Química Verde	Eletiva para bacharelado e licenciatura
UFTM	Química Verde	Eletiva para licenciatura
UFOP	Tecnologias Verdes para Indústrias Químicas	Eletiva para licenciatura e química industrial
UFSCAR	Introdução à Química Verde	Obrigatória para licenciatura
UNIFESP	Química Verde: epistemologia dos sentidos e racionalidades	Eletiva para bacharelado e curso de Química industrial

**Quadro 7.** Disciplinas que tratam especificamente sobre QV

(conclusão)

UNESP	Análise instrumental, Educação Ambiental e Química Verde	Obrigatória para licenciatura
UFPEL	Química Verde	Obrigatória para bacharelado, licenciatura e química industrial
UFSC	Introdução à Química Verde	Eletiva para bacharelado e licenciatura
UNILA	Introdução à Química Verde	Eletiva para licenciatura
UFCSA	Princípios e aplicações de Química Verde	Eletiva do curso de Química Medicinal, porém ofertada para diversos cursos da instituição

**Quadro 8.** Disciplinas que contém apenas inserções de QV

(continua)

<b>INSTITUIÇÃO</b>	<b>NOME DA DISCIPLINA</b>	<b>OBRIGATÓRIA/ELETIVA</b>
UFAC	Ciência, tecnologia e sociedade	Obrigatória para licenciatura
UFAC	Química Ambiental	Obrigatória para licenciatura
UFRR	História e Filosofia da Química	Obrigatória para licenciatura
UNILAB	Química, meio ambiente e educação	Obrigatória para licenciatura
UFRN	Química Ambiental	Obrigatória para bacharelado
UEFS	Química e Ambiente II	Eletiva para licenciatura
UEMS	Química Ambiental	Obrigatória para licenciatura
UFMS	Química Inorgânica III	Obrigatória para licenciatura
UFMS	Química Orgânica II	Obrigatória para licenciatura
UFGD	Química Medicinal	Eletiva para bacharelado
UFMT	Química Ambiental	Obrigatória para licenciatura
USP	Química do Meio Ambiente	Eletiva para todos os cursos relacionados à química do campus São Paulo
USP	Técnicas experimentais de Química Orgânica	Eletiva

**Quadro 8.** Disciplinas que contém apenas inserções de QV

(continuação)

USP	Química Ambiental I	Obrigatória para Bacharelado em Química com Ênfase em Química Ambiental (desativada em 2019)
USP	Química Ambiental I	Obrigatória para Bacharelado em Química com Ênfase em Química Ambiental (ativa desde 2020)
UNICAMP	Aplicação de tecnologias em Química Orgânica Sintética	Eletiva para bacharelado e licenciatura
UNICAMP	Água e economia circular	Eletiva para bacharelado e licenciatura
UEMG	Química Ambiental	Obrigatória para licenciatura
UFU	Química Ambiental	Obrigatória para os cursos bacharelado, licenciatura e química industrial
UFJF	Química do Meio Ambiente	Não especificado
UFSJ	Química Ambiental	Obrigatória para licenciatura e bacharelado
UFES	Química Ambiental	Obrigatória para licenciatura
UENF	Química Ambiental	Obrigatória para licenciatura
UFSC	Introdução à síntese orgânica	Eletiva para bacharelado e licenciatura
UNILA	Química Ambiental e Sociedade	Obrigatória para licenciatura
UFCSPA	Síntese de Substâncias Bioativas	Obrigatória para o curso de Química Medicinal
UEPG	Química Ambiental	Obrigatória para Química Tecnológica e Bacharelado
UNIOESTE	Química e Educação Ambiental	Obrigatória para licenciatura
UFFS	Química Ambiental	Obrigatória para licenciatura
UNICENTRO	Química Ambiental	Obrigatória para licenciatura
UEM	Química Ambiental	Obrigatória para licenciatura e bacharelado

**Quadro 8.** Disciplinas que contém apenas inserções de QV

(conclusão)

UTFPR	Química Ambiental básica	Obrigatória para licenciatura (campus Campo Mourão)
UNESPAR	Química Ambiental	Obrigatória para licenciatura (campus União da Vitória)

#### 4.2 CORPUS DE ANÁLISE

Com base no levantamento apresentado no Quadro 6 descrito nos Quadros 7 e 8, obteve-se um total de 53 planos que compreendem o *corpus* de análise. Com essa definição amostral e de posse do material coletado, inicia-se a análise de dados, que será feita por meio da Análise Textual Discursiva (ATD).

Proposta por Moraes e Galiazzi (2007), a ATD é um procedimento e instrumento de análise qualitativa, organizada em três etapas: unitarização, categorização e comunicação. Na primeira etapa, realiza-se a unitarização, que se constitui em um processo de desintegração dos textos, nos quais destacam-se seus elementos constituintes e o foco volta-se para detalhes e partes que compõem os textos, ou seja, é realizada a fragmentação dos textos em unidades de significado produzidos pela leitura do pesquisador. Essas unidades de significado são reconhecidas de forma que façam sentido aos objetivos da pesquisa, pois irão constituir as categorias formadas subsequentemente. Todo esse processo é conhecido como partir da desordem para que se possa construir uma nova ordem, o que é reforçado pelos autores, Moraes e Galiazzi (2007) quando afirmam que é por meio dessa desordem que são criadas condições para o surgimento de novas interpretações inéditas e criativas, ficando a cargo das habilidades do pesquisador relacionar as partes com o todo.

Na segunda etapa, Categorização, essas unidades de significado são agrupadas por meio dos sentidos semelhantes e constituem categorias temáticas, que são descritas e interpretadas na construção de um “metatexto”. As categorias podem ser constituídas *a priori*, ou seja, antes da análise de todo o corpus, sendo baseadas na fundamentação teórica da pesquisa, ou podem ser emergentes, que surgem a partir da análise do corpus. (MORAES e GALIAZZI, 2007). Moraes e Galiazzi (2007) salientam que alguns aspectos devem ser observados sobre a construção das categorias, sendo que: as categorias devem ser apropriadas aos objetivos e ao objeto da análise; para serem válidas, um conjunto de categorias precisa permitir uma nova compreensão sobre o que foi pesquisado; as categorias precisam ser homogêneas, construídas

a partir de um mesmo princípio; uma unidade de significado pode ser encaixada em mais de uma categoria, pois é possível ter mais de um sentido; as categorias são constituídas para que seja possível focalizar o todo por meio de suas partes, são perspectivas diferentes para se analisar de maneira completa um fenômeno.

Como última etapa, a Comunicação se constitui da construção de metatextos, os quais são constituídos de descrição e interpretação, assim representando um modo de teorização sobre os fenômenos investigados. Para os autores, Moraes e Galiuzzi (2007), os metatextos devem ser criticados e reformulados repetidas vezes, com o objetivo de serem aprimorados, pois são um esforço que representa as interpretações e entendimentos expressos a partir da impregnação com o corpus de análise.

Baseado nesse instrumento de análise, nas discussões teóricas apresentadas nos Capítulos 2 “Aspectos gerais e conteúdos de Química Verde” e no Capítulo 3 “O ensino da Química Verde”, buscaremos “olhar” no *corpus* amostral, tomando algumas categorias de análise emergentes que serão apresentadas a seguir.

Para examinar de que maneira a QV tem sido ensinada nas IES brasileiras, foi desenvolvida uma metodologia tomando como referência as propostas de Sjöström e Talanquer (2014) e Sandri e Santin Filho (2019). As propostas de Sjöström e Talanquer (2014) se baseiam nas discussões sobre Didaktik e na proposição de um tetraedro com diferentes níveis de complexidade para analisar aspectos humanísticos no ensino de química. Parte-se da Química Aplicada, é o primeiro nível e onde se concentram as questões práticas e cotidianas da química, passando pelo nível de Sócio-Química, que inclui análises socioculturais e sociocientíficas da química, e chegando ao nível mais complexo, intitulado Química Crítico-Reflexiva, que envolve uma análise reflexiva das implicações sociais, filosóficas e políticas da química. Os autores destacam a importância de uma abordagem educacional que leve em consideração aspectos humanísticos e críticos, bem como a necessidade de formação de professores capazes de implementar essa abordagem de forma eficaz. A pesquisa também ressalta os desafios associados à mudança de paradigma no ensino de Química e destaca a importância da formação de professores críticos e reflexivos para promover uma cultura de cuidado ambiental.

Fundamentada em trabalhos anteriores (ZUIN, 2011; BURMEISTER; RAUCH; EILKS, 2012) Sandri (2019) desenvolve e apresenta três modelos de abordagem para o ensino da QV, com o objetivo de identificar quais mais se aproximam de uma perspectiva crítica da QV. No modelo 1 não existem mudanças curriculares e a QV é aplicada apenas na prática experimental, com foco qualitativo e sem discussões críticas. O modelo 2 inclui análises teóricas dos conteúdos químicos e tomada de decisões baseada em métricas, buscando a

sustentabilidade, o que requer maior envolvimento dos alunos e contextualização crítica. Já o modelo 3 abrange a conexão dos conhecimentos químicos com questões sociocientíficas, ambientais, políticas e econômicas. Para isso, é exigido uma transformação profunda na prática de ensino, buscando abordagens mais reflexivas e contextualizadas.

A partir destes estudos e relacionando com os conceitos da Didaktik, com base nas questões fundamentais: “Que” conteúdos são importantes de se aprender em QV, “Porque” há a necessidade de se ensinar tais conteúdos de QV e “Como” estes conteúdos poderiam ser ensinados quando se almeja o ensino de QV, emergiram as seguintes categorias para analisar os planos de ensino reunidos das IES que contém disciplinas de QV:

**1. Os Princípios da QV sob uma abordagem instrumental:** O ensino da QV é proposto apenas no ensino e aplicação de princípios da QV de forma qualitativa, sob a perspectiva da experimentação. Não pressupõe discussões de forma crítica. Este tipo de abordagem está relacionado ao Paradigma do Risco (THORNTON, 2000) e na Racionalidade Instrumental (rever discussão na pág. 19 deste texto). Utiliza como referência os autores clássicos da QV, mas sem as discussões recentes e atualizadas dos mesmos.

**2. Transitando entre novos e antigos paradigmas:** O ensino da QV é proposto e problematizado para além de apenas os princípios da QV. Há a possibilidade de discussão sobre questões sociais, ambientais e econômicas. Existe a indicação da adoção de métricas. Este tipo de abordagem transita entre questões relacionadas ao Paradigma do Risco e do Paradigma Ecológico (THORNTON, 2000) e na Racionalidade Prática (MONASTERÍN, 2008). Utiliza como referências as discussões mais atuais dos autores clássicos, mas não problematiza as limitações da QV.

**3. Problematizando limites e possibilidades para a QV:** O ensino da QV é proposto a partir de uma perspectiva reflexiva, histórica e filosófica, com ênfase em sua ação transformadora. Articula conhecimentos e ações da QV com questões ambientais, questiona o papel da mesma e reconhece seus limites. Utiliza diferentes métricas e as problematiza. Este tipo de abordagem se relaciona com a Racionalidade Crítica (MARCELINO, 2020), e com o Paradigma Ecológico (THORNTON, 2000). Há a utilização de autores para além dos clássicos da QV, relacionados com discussões sobre limites termodinâmicos.

Utilizamos, então, cada uma dessas categorias para analisar os 20 planos de ensino que tratam especificamente de QV quanto aos Objetivos, Conteúdos e Referências presentes nos mesmos. Os outros 33 planos que têm inserções pontuais de QV são analisados em como aparecem essas inserções, quais as referências utilizadas pelos mesmos e quais níveis de aprofundamento propõem sobre QV. Essa distinção é essencial para uma análise minuciosa,

pois o nível de aprofundamento e abordagem de QV pode variar consideravelmente, e essa diferenciação permite discernir entre aquelas disciplinas que abordam a temática de forma superficial e aquelas que se dedicam especificamente ao estudo mais aprofundado da QV.

### 4.3 ANÁLISES DOS DADOS

Este item se divide em duas partes: o 4.3.1 onde serão realizadas as análises dos 33 planos sobre disciplinas que têm inserções de QV, elencadas no Quadro 8; e o item 4.3.2 no qual serão realizadas as análises dos 20 planos das disciplinas que tratam especificamente sobre QV, elencadas no quadro 7, sendo estas últimas analisadas à luz das categorias explicitadas no final do item anterior.

#### 4.3.1 Planos de ensino que contém apenas inserções de QV

Os documentos elencados aqui abrangem o total de 33 planos de ensino, nos quais há inserções pontuais de QV, sendo o foco das disciplinas em outros temas. A maior parte destas disciplinas são obrigatórias, variando a oferta entre os cursos de bacharelado e licenciatura, somando 25 disciplinas. As não obrigatórias perfazem 7 disciplinas, e apenas 1 disciplina, da UFJF não especifica essa informação.

De maneira geral, dentre as 33 disciplinas, 23 são de “Química Ambiental” com variações no nome como: “Química do Meio Ambiente” ou “Química, Ambiente e Sociedade” ou “Química e Educação Ambiental”. As outras 10 disciplinas possuem no nome relações com a Química Orgânica, com disciplinas destinadas às práticas laboratoriais e outras voltadas às aplicações tecnológicas. Uma delas, que é ofertada pela UFCSPA, foge um pouco desse padrão e é intitulada como “Sínteses de substâncias bioativas”, sendo uma disciplina obrigatória para o curso de Química Medicinal. Outra é intitulada “Água e Economia Circular”, ofertada pela UNICAMP como disciplina eletiva.

Todos os 23 planos mencionados anteriormente têm em comum a abrangência dos conteúdos característicos das disciplinas de Química Ambiental, com poucas variações entre eles. A maioria também engloba os tradicionais temas da área, como: legislações ambientais, a química dos solos, das águas e da atmosfera, os ciclos biogeoquímicos, os diferentes poluentes, e os resultados da ação antrópica no ambiente. Como pode-se observar nos trechos abaixo:

“EMENTA: Química Atmosférica e Poluição do Ar: Química Estratosférica, Poluição Atmosférica e suas Consequências para o Ambiente e para a Saúde, Energia e Mudanças Climáticas. Química da Água e Poluição da Água: A Química das Águas Naturais, Poluição e Purificação da Água. Metais Pesados Compostos Orgânicos Tóxicos: Pesticidas, Dioxinas, Furanos e PCBs, Resíduos, Solos e Sedimentos. O solo e a química ambiental agrícola. Análise Química Ambiental: águas e águas

residuárias, resíduos e sólidos, atmosfera e dos poluentes do ar, materiais biológicos e xenobióticos. Legislação ambiental: CONAMA e leis estaduais. Tópicos especiais: sustentabilidade, química verde, agroecologia, recursos e materiais sustentáveis. Prática como Componente Curricular: diálogos com o currículo da Educação Básica.” (Plano da disciplina de Química Ambiental da UFFS - grifo nosso).

“Programa resumido: conceitos gerais sobre o Meio Ambiente (compartimentos ambientais, ciclos biogeoquímicos, compostos de importância para o meio ambiente, impactos ambientais, Química Verde). Recursos naturais (impactos da produção e uso de energia e água). Introdução à redução, tratamento e disposição de resíduos químicos. Discussão de tópicos atuais em meio ambiente.” (Plano da disciplina Química Ambiental I da USP - grifo nosso).

Em relação às referências utilizadas, praticamente todas as disciplinas que apresentam as referências utilizam pelo menos uma dentre as obras de Baird (1998), Manahan (1994) e Baird e Cann (2011), com variações de edições das três obras, os quais são livros intitulados como sendo de Química Ambiental. No exemplo abaixo é possível observar como isto acontece:

“1. Obras de referência geral

BAIRD, C. Environmental Chemistry. New York: W.H. Freeman and Company, 1998, 557 p.

MACEDO, J.A.B. de. Introdução à Química Ambiental - Química & Meio Ambiente & Sociedade. Juiz de Fora (MG): Editado por Jorge Macedo, 2002, 487 p.

MANAHAN, S.E. Environmental Chemistry. 6. ed. Boca Raton (Florida - USA): CRC Press, Inc., 1994. 811 p.

VanLOON, G.W. and DUFFY, S.J. Environmental Chemistry - A Global Perspective. Oxford (UK): Oxford University Press, 2001. 492 p.” (Plano da disciplina de Química Ambiental da UEM).

Diante destes exemplos, observa-se que estas disciplinas e seus Planos de Ensino são todos muito semelhantes entre si, visto que se utilizam das mesmas referências e a estrutura das disciplinas segue a ordem e os conteúdos apresentados nos livros citados. O que, de certa forma, justifica a não presença da QV de forma mais enfática e abrangente, sendo apenas citada como um tópico, como apresentado nos dois exemplos acima, nos planos das disciplinas da UFFS e da USP, pois os referenciais teóricos clássicos utilizados são de Química Ambiental e não tratam sobre QV. Isso pode significar que a QV e seu ensino ainda não estão plenamente integrados às disciplinas analisadas. A semelhança entre estes planos de ensino, que se utilizam das mesmas referências e seguem estruturas baseadas nos conteúdos dos livros citados, sugere que os princípios da QV não estão sendo suficientemente abordados. Pois a QV é mencionada apenas superficialmente, sem que sua presença seja enfática e abrangente. Isso indica necessidades de revisão e atualização dos currículos, para que se inclua de maneira mais explícita e profunda os conceitos e práticas da QV, permitindo assim uma formação mais alinhada com os objetivos da sustentabilidade e responsabilidade ambiental.

Nesses 33 planos de ensino, as inserções sobre QV aparecem na ementa ou conteúdos como em trechos como: “Introdução à Química Verde” ou “Os doze princípios da Química

Verde e aplicações” ou “Os princípios da Química Verde e a Educação Ambiental” ou apenas como “Química Verde”. Destas 33 disciplinas, em 5 delas é possível observar de forma direta o que Marcelino e Marques (2023) definem como natureza instrumentalizante, pois nas mesmas é indicada a QV como sendo uma “alternativa em matérias-primas, reagentes, solventes produtos e processos”, como descrito no plano de ensino da disciplina intitulada “Química Ambiental” da UFSJ.

Na disciplina “Técnicas experimentais de Química Orgânica” da USP, um dos objetivos citados é a introdução de conceitos e experimentos de QV, e no programa da disciplina fica mais explícito que isso inclui o “planejamento e execução de experimentos seguindo-se os conceitos básicos da Química Verde”. No plano da disciplina de “Química Orgânica II” da UFMS, a ementa anuncia “consciência ambiental e as reações orgânicas no contexto da química verde”. Já no plano da disciplina “Aplicação de tecnologias em Química Orgânica Sintética” da UNICAMP são abordadas “novas tecnologias e a química verde”. E no plano da disciplina de “Síntese de substâncias bioativas” da UFCSPA, a ementa menciona que na disciplina se “trabalha métodos de síntese voltados aos princípios da química verde” e o conteúdo é “química verde e a síntese de fármacos”.

Todas as 5 disciplinas citadas são direcionadas às práticas laboratoriais e acabam por relacionar a QV à uma técnica ou tecnologia, utilizando-se de seus conceitos básicos e/ou princípios. Interessante notar que em quase todas estas 5 disciplinas não é apresentada nenhuma referência bibliográfica relativa à QV e todas as referências bibliográficas são relacionadas ao campo da química ambiental, ou química orgânica, salvo a disciplina da UNICAMP que utiliza referências relacionadas ao uso de micro-ondas e QV. Com as informações constantes nos planos das disciplinas apresentadas, é perceptível que provavelmente não há problematização e discussões sobre a QV, apenas uma utilização da mesma como uma técnica ou melhoria de práticas laboratoriais. O que significa que a inserção da QV no ensino da Química ainda é limitada e superficial.

As disciplinas mencionadas focam predominantemente em práticas laboratoriais específicas e relacionam a QV apenas a técnicas ou tecnologias, utilizando seus conceitos básicos e princípios de forma restrita. A ausência de referências bibliográficas diretamente relacionadas à QV (exceto na disciplina da UNICAMP), sugere que a QV não é abordada como um campo de estudo teórico robusto, mas apenas como uma aplicação prática.

Essa abordagem limitada indica que a QV não está sendo plenamente integrada aos currículos de Química de forma a promover discussões aprofundadas e críticas sobre seus princípios e impactos. Ao invés de ser tratada como uma parte essencial e abrangente do ensino

da Química, a QV é relegada a um papel de suporte técnico. Para haver uma verdadeira inserção da QV no ensino da Química, é necessário expandir sua presença nos currículos, incluindo discussões teóricas, problematizações, e uma variedade de referências bibliográficas específicas, garantindo assim uma formação mais completa e consciente dos futuros químicos.

Dentre as 33 disciplinas, 10 aprofundam o estudo da QV para além de simplesmente mencionar o termo como parte do conteúdo programático, incorporando autores renomados do campo da QV em suas referências e/ou estabelecendo conexões entre a QV e temas afins, como o da sustentabilidade. É o caso da disciplina “Introdução à síntese orgânica” da UFSC, que adota um livro sobre introdução à métodos e reagentes para QV de autoria de Tundo, Perosa e Zecchini (2007) e em sua ementa destaca que: “Todos estes conceitos serão comparados com, sempre que possível, os doze princípios da química verde; eficiência atômica e economia de átomos; reagentes e solventes alternativos para uma Química Limpa. Catálise e Biocatálise; Fontes de energia não clássicas na síntese orgânica”.

A disciplina intitulada “Química do meio ambiente” da UFJF relaciona, na sua ementa “Educação Ambiental e Química Verde”. Como conteúdo programático cita “Educação ambiental: Gerenciamento de resíduos (natureza dos resíduos, lixo e aterros sanitários e reciclagem. Riscos químicos: classificação dos tóxicos, dos efeitos, classes de risco ONU, mapas de risco. Química Verde: conceito, química verde no ensino”. Como bibliografia complementar cita Lenardão (2003), uma referência bastante utilizada quando se pretende anunciar os 12P da QV e introdução ao assunto.

Há um caso em que há uma citação explícita sobre a relação da QV com a sustentabilidade no conteúdo programático, da disciplina de “Química Ambiental” da UFU, porém não apresenta nenhuma referência bibliográfica que possa embasar essa abordagem relacional. Já o plano da disciplina de “Química Ambiental” da UFMT, apresenta na ementa “A epistemologia da educação ambiental; articulação das ciências na natureza, sociedade; interdisciplinaridade, meio ambiente e desenvolvimento sustentável; a complexidade ambiental”.

Corroborando com isso, traz como objetivo geral: “A disciplina de Química Ambiental pretende conduzir o acadêmico a uma melhor compreensão da composição química dos compartimentos da Terra (água, solo e ar), e os impactos gerados pela ação antropogênica no meio ambiente”. E, ainda, como objetivo específico: “Compreender a Química no contexto da Química Verde com ações, métodos e processos que causem menos impacto ambiental e social.” A disciplina também traz o termo “desenvolvimento sustentável” no conteúdo programático e como referências bibliográficas complementares utiliza-se de obras de Enrique

Leff (2001, 2002, 2003), sociólogo ambientalista mexicano, que é um dos principais intelectuais latino-americanos no âmbito da problemática ambiental, e nestas obras aborda temas de epistemologia ambiental e sustentabilidade.

Outra disciplina com enfoque semelhante é a de “Química, meio ambiente e educação” da UNILAB que relaciona QV com educação ambiental e também se utiliza da referência bibliográfica de Leff (2001).

Dentre os 33 planos, a referência bibliográfica bastante conhecida de Corrêa e Zuin (2012) é citada duas vezes, nos planos da UFAC e da UEPG, mas estes planos apenas citam o termo QV na ementa, sem discuti-lo de alguma forma, ou mostrar como será abordado.

Outros 3 planos relacionam a QV com a sustentabilidade, como é o caso da disciplina de Química Ambiental da UNESPAR que traz na ementa “A Química Verde e Sustentabilidade” e como conteúdo programático: “A Química Verde e Sustentabilidade: Princípios básicos da química verde. Princípios básicos da Sustentabilidade. Avaliação do ciclo de vida. Desenvolvimento e práticas sustentáveis.” Na continuação faz relações com a educação ambiental, mas ainda utiliza como referência Portilho (2010), onde a autora analisa a emergência e possível centralidade do discurso internacional sobre consumo sustentável e discute algumas consequências disso para as políticas ambientais. No plano da disciplina “Química Ambiental e Sociedade” da UNILA, há o seguinte trecho na ementa:

“(…) Programas de educação ambiental para o Ensino Médio; Histórico da noção de sustentabilidade: política internacional da questão ambiental. Agenda 21 e o Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e Responsabilidade Global. Objetivos, princípios, características e estratégias da educação ambiental. Incorporação da dimensão ambiental nos currículos: PCNs, Lei Nacional de EA, ambientalização da universidade. Responsabilidade planetária. Princípios e conceitos da Química verde: desenvolvimento sustentável, conceito de tecnologia limpa, economia atômica, adoção de tecnologias alternativas de custos aceitáveis, concepção e projeto de processos para minimização do desperdício, tendências recentes. (Plano da disciplina Química Ambiental e Sociedade da UNILA -grifo nosso).

Ainda, o plano da disciplina “Química Ambiental” da UFFS, que apresenta em sua ementa: “(…) Tópicos especiais: sustentabilidade, química verde, agroecologia, recursos e materiais sustentáveis.”

Dentre as 33 disciplinas, três delas trazem em seus planos a relação da QV com o ensino. Porém, a disciplina de Química Ambiental da UFFS cita a relação da QV com a sustentabilidade, mas traz como objetivo apenas a referência à educação ambiental:

“Reconhecer e identificar as principais causas e os problemas ligados ao meio ambiente através do estudo sistemático das principais fontes de degradação e alteração do meio ambiente pelas atividades do homem moderno estimulando o senso crítico do licenciando referente aos processos químicos que ocorrem no meio ambiente para

que assim este possa atuar como um educador ambiental no Ensino.” (Plano da disciplina de Química Ambiental da UFFS).

Esse plano também não apresenta nenhuma referência bibliográfica relacionada à QV. Outra disciplina é a de “Química Ambiental” da UFES que, apesar de não trazer nenhuma referência bibliográfica relacionada à QV, coloca como um dos objetivos: “Conscientizar o aluno sobre a sua responsabilidade, enquanto professor, com a propagação dos conceitos da Química Verde”, o que denota a preocupação com o tema, visto que a disciplina, que é ofertada como obrigatória para o curso de licenciatura, apresenta apenas três objetivos e este se configura como um deles. A terceira, intitulada “Química ambiental e sociedade” da UNILA apresenta na ementa:

“(…) Programas de educação ambiental para o ensino médio. Histórico da noção de sustentabilidade: política internacional da questão ambiental. Agenda 21 e o Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e Responsabilidade Global. Objetivos, princípios, características, e estratégias da educação ambiental. Incorporação da dimensão ambiental nos currículos: PCNs, Lei Nacional da EA, **ambientalização da universidade**. Responsabilidade planetária. **Princípios e conceitos da Química Verde**: desenvolvimento sustentável, conceito de tecnologia limpa, economia atômica, adoção de tecnologias alternativas de custos aceitáveis, concepção e projeto de processos para minimização do desperdício, tendências recentes.” (Plano da disciplina Química ambiental e sociedade da UNILA - grifo nosso).

Mesmo não sendo um plano com enfoque em QV nota-se um movimento em abordar mais conceitos para além de apresentação dos princípios da QV quando aborda a relação com o desenvolvimento sustentável, e as questões curricular e ambiental. As referências bibliográficas utilizadas também corroboram nesse sentido, visto que utiliza Porto-Gonçalves (2004), geógrafo e autor premiado várias vezes por suas obras, Leff (2012), o qual já foi apresentado anteriormente, e Reigota (2009), biólogo de formação e premiado e homenageado em diversos países sobre sua atuação no meio ambiente. Estes são autores renomados em suas áreas de atuação e que convergem com o exposto na ementa, apresentando e problematizando a temática ambiental e seus desafios e limitações, também discutindo a questão econômica.

A análise dos 33 planos de ensino (ver Quadro 8) discutidos neste capítulo revela que, embora de maneira superficial, o movimento de incorporar a QV em disciplinas já existentes representa um avanço significativo. Este progresso, embora modesto e gradual, é essencial para a integração mais ampla da QV em todo o currículo acadêmico. A inclusão da QV, mesmo que incipiente, indica um reconhecimento crescente de sua importância na formação de futuros profissionais da química.

Para maximizar o impacto positivo da QV no ensino, é crucial que esta não seja apenas mencionada como um complemento técnico, mas que seja profundamente integrada como um

componente central das disciplinas. Isso requer uma revisão abrangente dos planos de ensino das disciplinas para incluir discussões teóricas aprofundadas, estudos de caso relevantes, e uma gama de referências bibliográficas específicas sobre QV. A abordagem superficial atual deve evoluir para uma incorporação holística que aborde os princípios da QV de maneira sistemática e crítica. Pois a plena integração da QV no currículo é fundamental para preparar estudantes para práticas profissionais que são não apenas cientificamente robustas, mas também éticas e sustentáveis.

A QV promove a minimização de impactos ambientais, a utilização de recursos renováveis e a redução de resíduos tóxicos, princípios que são essenciais para a construção de um futuro mais sustentável e resiliente. Formar químicos com uma sólida compreensão e aplicação dos princípios da QV é vital para enfrentar os desafios ambientais globais e promover um desenvolvimento tecnológico que respeite o meio ambiente. Portanto, a expansão e aprofundamento da QV no currículo acadêmico não só melhoram a qualidade da formação dos estudantes, mas também contribuem significativamente para a evolução da química como uma ciência comprometida com a sustentabilidade e a responsabilidade social. Essa evolução curricular é um passo necessário para alinhar a educação química com os objetivos contemporâneos de desenvolvimento sustentável, preparando profissionais capazes de inovar e liderar na criação de soluções químicas que beneficiem tanto a sociedade quanto o meio ambiente.

#### **4.3.2 Planos de ensino que tratam especificamente sobre QV**

Aqui são apresentados e discutidos os 20 planos de ensino que tratam especificamente sobre QV (ver Quadro 7), à luz das três categorias elencadas no item 4.1: 1. Os Princípios da QV sob uma abordagem instrumental; 2. Transitando entre novos e antigos paradigmas; 3. Problematizando limites e possibilidades para a QV.

##### **Categoria 1: Os princípios da QV sob uma abordagem instrumental**

Todas as disciplinas possuem no nome alguma indicação à QV, variando entre “Química Verde”, “Práticas em Química Verde”, “Introdução à Química Verde e Sustentável”, “Tecnologias verdes para indústrias químicas”, “Análise Instrumental, Educação Ambiental e Química Verde”, “Princípios e aplicações da Química Verde”, “Química Orgânica Verde”, “Química Verde: epistemologia dos sentidos e racionalidades”. A exceção é a disciplina da USP intitulada “Química Ambiental III”, que porém todo o plano se refere apenas à QV.

Dos 20 planos analisados, 15 se enquadram nessa categoria 1, e a análise da mesma se concentra em examinar como os planos das disciplinas abordam e exploram as produções denominadas QV.

Todos os planos analisados apresentam a organização da disciplina com base nos 12P da QV, ou colocando apenas o termo como parte da ementa e/ou conteúdos, ou citando cada um dos princípios individualmente. Por exemplo, no plano da disciplina “Princípios e Aplicações de QV”, da UFCSPA, há um trecho no objetivo geral que diz: “Assim, o objetivo geral da disciplina é apresentar aos alunos os princípios de Química Verde e avaliar aplicações nas diversas áreas da Saúde”. Na ementa da disciplina “Química Verde” da UFF há o seguinte trecho: “Os 12 princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa”, porém o plano não detalha como se dará essa inserção.

Na disciplina da UESC na ementa contém: “Química verde: conceito, ferramentas, princípios, exemplos de aplicação”. Vale ressaltar que essa disciplina apresenta apenas a ementa e referências, não detalha conteúdo programático, nem objetivos ou metodologia da disciplina, ficando muito vago como isso será efetivamente trabalhado durante as aulas da disciplina. Já nas duas disciplinas da USP intituladas “Química Ambiental III” (sendo uma ativa e outra inativa), além de terem os mesmos objetivos e citarem os 12P como a maior parte dos seus conteúdos programáticos, aquela que se encontra ativa acrescenta um parágrafo sobre a metodologia, que diz:

“Parte do programa do curso poderá ser trabalhado em atividade didática desenvolvida em visita técnica ou atividade de campo como, por exemplo, estação de tratamento de águas/efluentes industriais, esgoto, reserva ambiental, sítio contaminado de interesse ambiental, usina de produção de energia, etc.” (Disciplina Química Ambiental III - USP - ativação 01/01/20).

O fato de incluir uma atividade envolvendo uma visita técnica como parte do programa da disciplina evidencia o compromisso do docente em proporcionar espaços formativos para enriquecer o aprendizado dos alunos, além de ser uma oportunidade valiosa de contextualizar os conceitos teóricos de QV, estimular a reflexão crítica sobre os problemas ambientais encontrados nestas visitas e proporciona um incentivo à adoção de uma abordagem mais responsável em suas carreiras bem como uma melhor compreensão da relevância do tema. Além disso, é uma excelente ocasião para se discutir sobre os desafios e oportunidades associados à implementação da QV. Podem ser debatidas questões éticas, econômicas e sociais relacionadas à adoção dessas práticas e considerar como podem contribuir para um futuro mais sustentável.

Considerando que os 12P da QV fazem parte de todas as disciplinas elencadas nesta categoria e também das outras disciplinas discutidas nas categorias 2 e 3, é importante frisar que esse tipo de abordagem dentro de uma disciplina sobre QV é algo esperado pois, por muito tempo, a divulgação da QV foi o modo de fazê-la ser conhecida no meio acadêmico. Um estudo desenvolvido por Dias, (2016), discute este aspecto quando diferentes autores faziam em seus trabalhos a associação à QV através da indicação direta ou indireta à aplicação de algum(ns) dos 12P, de forma simplificada, sendo esta uma característica dos pressupostos utilizados pelos precursores da QV, que enfatizavam a aplicação dos princípios como uma característica primordial para se trabalhar essa nova filosofia. Este aspecto retorna nesta análise, pois a maioria destes planos são baseados nos 12P da QV, sendo elencados como todo o conteúdo programático da disciplina.

O problema aqui não está em abordar os 12P da QV como conteúdos, mas na falta de problematização desses princípios. Quando as limitações de sua aplicação, conforme elencadas por Machado (2014), não são discutidas, e se presume que apenas a exposição desses princípios é suficiente para praticar e disseminar a QV, cria-se um obstáculo tanto no seu ensino quanto na sua evolução. Para superar esse tipo de problema, sugere-se que ao se trabalhar os 12P da QV primeiramente eles sejam trabalhados de forma holística, para evitar casos de falsa QV (MACHADO, 2008), e que sejam incorporadas métricas para avaliação destas práticas. Os casos de "falsa verdura" ou "falsa Química Verde" referem-se à adoção superficial ou inadequada dos 12P da QV que, na prática, não resultam em melhorias significativas de sustentabilidade ou impacto ambiental. Machado (2008) destaca que esses casos ocorrem quando os 12P da QV são aplicados de forma simplista, sem uma análise crítica ou contextualização adequada. Isso pode levar à implementação de práticas que parecem verdes na superfície, mas que não cumprem verdadeiramente os objetivos da QV, resultando em uma percepção errônea de sustentabilidade.

Quando as limitações da aplicação dos princípios da QV, conforme elencadas por Machado (2014), não são discutidas, cria-se uma falsa sensação de segurança e eficácia. Essa abordagem insuficiente pode impedir a evolução tanto do ensino quanto da prática da QV. Por exemplo, uma prática pode ser considerada verde por reduzir o uso de substâncias tóxicas, mas se essa prática aumenta significativamente o consumo de energia ou gera resíduos difíceis de tratar, os benefícios podem ser anulados, resultando em um impacto ambiental global ainda maior.

Para evitar esses casos de falsa QV, é crucial adotar uma abordagem holística na educação e implementação dos 12P da QV. Isso significa que os princípios devem ser ensinados

e aplicados considerando a maior parte dentro do possível dos aspectos do ciclo de vida dos produtos e processos, desde a seleção de materiais até a disposição final dos resíduos. Deve-se incentivar a reflexão crítica sobre as condições específicas e limitações de cada princípio, discutindo suas implicações práticas e os desafios que podem surgir na implementação.

Além disso, a incorporação de métricas para avaliação dessas práticas é essencial. As métricas fornecem uma base objetiva para medir a eficácia e a sustentabilidade das práticas de QV. Elas podem incluir indicadores como eficiência de recursos, emissões de gases de efeito estufa, geração de resíduos, toxicidade, e impactos ao longo do ciclo de vida. Com essas métricas, é possível verificar se as práticas realmente aderem aos princípios da QV e se estão contribuindo para a sustentabilidade de maneira significativa. Em suma, a falsa QV representa um desafio crítico que pode ser superado através de uma abordagem educacional e prática mais robusta e integrada. Ao adotar uma visão holística e utilizar métricas de avaliação, é possível garantir que a abordagem do ensino da QV não seja apenas em torno de um conceito teórico, mas uma prática efetiva que promove a busca pela sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento responsável.

Essas seriam tentativas para se superar a racionalidade instrumental (ver mais na página 24) presente nesse tipo de abordagem onde os indivíduos aplicam os princípios (sem criticidade ou discussão) apenas para se enquadrarem na QV.

Outro conteúdo que é comum a quase todos os 15 planos elencados nesta categoria, é a relação com o contexto histórico da QV. Isso é algo muito importante pois fornece contexto aos estudantes, revela a evolução das ideias e conceitos, oferece lições aprendidas do passado, pode trazer inspiração para inovação e também ajuda na compreensão das tendências futuras do campo, além de situar a questão temporal, de como demorou para que uma atitude preventiva começasse a ser posta em prática frente aos problemas ambientais existentes.

Isso tudo se torna essencial para promover uma abordagem mais informada, crítica e eficaz em direção às práticas químicas mais responsáveis e sustentáveis. Os planos das disciplinas não detalham como é feita essa abordagem, apenas fazem uma citação como a da disciplina da USP: “Introdução, histórico e os 12 princípios”. Com base no referencial teórico apresentado no capítulo 2 deste texto, entende-se que é necessário que este tópico contemple minimamente um panorama geral a nível mundial de como se deu o surgimento da QV, quais aspectos foram relevantes para que se iniciasse esse tipo de discussão na Química e que culminou na QV, em relação às questões ambientais, políticas, econômicas e históricas da época.

Também se julga relevante apresentar o panorama nacional; ou seja, de como isso se deu em nosso país, assumindo a diferença temporal tardia na propagação da QV no Brasil e discutindo como isso impactou nossa indústria e conseqüentemente a nossa contribuição aos problemas ambientais que nos rodeiam e as resistências enfrentadas no campo das legislações e política, além das de âmbito educacional já bastante discutidas neste trabalho. Isso é presente apenas na disciplina da UFF quando se refere na ementa: “Evolução da Química Verde no Brasil”.

Um outro aspecto elencado como parte de algumas disciplinas (7) é a questão da sustentabilidade. Por exemplo, na disciplina da UFOP é citado apenas o termo no conteúdo programático: “O futuro verde: sustentabilidade, energia e fontes químicas”. Já no plano da UFF existe mais de uma citação, a primeira na ementa: “Introdução à Química Verde; Sustentabilidade; Desenvolvimento Sustentável e Química Verde (...)” e a outra no conteúdo programático: “(...) Compreender e aplicar estes princípios teóricos enfatizando a relação entre química, sustentabilidade e meio ambiente.” Na disciplina da UNILA, a ementa traz: “Princípios e conceitos da Química Verde: desenvolvimento sustentável(...)” e é o que está presente também na ementa da disciplina da UFMT. Na ementa da disciplina da UFCAT tem-se: “(...) Exemplos da Química Verde em ação. Sustentabilidade”. E continua nas orientações metodológicas:

“Apresentar técnicas que possam contribuir para a diminuição e/ou extinção da geração de poluentes de acordo com o conceito de Química Verde e a utilização de recursos naturais e energéticos com maior eficiência. Focar nos princípios básicos como catálise, solventes e minimização de resíduos. Discutir questões básicas de sustentabilidade.” (Plano da disciplina Química Verde da UFCAT).

No plano da disciplina da UFTM, a ementa é a única a apresentar o seguinte: “Química Verde e a Sustentabilidade Financeira. Química Verde como filosofia.” Entretanto, a disciplina não explicita o significado desse conceito, nem apresenta nenhuma referência bibliográfica relacionada ao tema. Isso deixa muitas dúvidas sobre o que o termo realmente significa e quais aspectos a disciplina pretende abordar.

A disciplina da UFPEL traz essa mesma vertente, presente nos objetivos, alegando que ao final do curso os alunos deverão: “- Ter a capacidade de detectar e propor soluções para problemas relacionados a processos que utilizam ou geram substâncias danosas ao meio ambiente; - Entender os conceitos básicos da nova filosofia da Química Verde e seus princípios”.

Estes aspectos destacados nestas disciplinas denotam duas coisas importantes: a primeira é que os autores dos planos parecem possuir uma visão mais profunda de QV, já que

a elencam como uma filosofia, portanto a compreendem como promotora de mudança de mentalidade, que orienta as práticas químicas e considera suas implicações ambientais, sociais e econômicas. A segunda coisa destacada no plano da UFTM, é a importância de se trazer à discussão as implicações e a dimensão econômica da sustentabilidade, pois isso pode auxiliar na garantia à longo prazo das ações desenvolvidas, estimular a inovação e contribuir na busca pelo alcance dos objetivos do desenvolvimento sustentável.

Já no plano da UFABC, os objetivos gerais da disciplina são:

- “- Compreender os fundamentos da Química Verde através de experimentos;
- **Comparar processos químicos verdes com processos químicos tradicionais;**
- Reconhecer transformações químicas envolvidas nos experimentos;
- Escolher métodos químicos que agridem menos o meio ambiente;
- Familiarizar com técnicas de laboratório e reconhecer equipamentos básicos.” (Plano da disciplina Práticas em Química Verde da UFABC -grifo nosso).

Comparativamente a todos os outros planos, este plano da Disciplina “Práticas em Química Verde” da UFABC, traz pela primeira vez essa relação de comparação entre práticas verdes e tradicionais. Esse aspecto temático foi elencado por Marques *et al.* (2020) em seu estudo sobre o ensino da QV em publicações do *Journal of Chemical Education* como uma prática consideravelmente utilizada como objetivo das propostas analisadas. Essa estratégia de ensino consiste em apresentar aos alunos duas formas de se produzir o mesmo produto, uma delas seria utilizando as rotas tradicionais já praticadas nos laboratórios e a outra seria uma nova forma, baseada nos princípios da QV. Ao final das duas práticas são comparados os resultados e discutidas as vantagens da rota verde em relação à tradicional, sendo um recurso bastante eficiente quando se quer evidenciar os problemas das práticas tradicionais e as vantagens das práticas verdes de uma forma mais objetiva.

Outro aspecto expressivo nestes 15 planos são as referências utilizadas. As referências mais utilizadas em todas as disciplinas analisadas nesta categoria são: Collins (1995), Anastas e Warner (1998), Clark e Macquarrie (2002), Lancaster (2002), Lenardão *et al.* (2003), Sheldon, Arends e Hanefeld (2007), Tundo, Perosa e Zecchini (2007), Correa e Zuin (2009). A seguir será brevemente comentado sobre cada uma destas referências.

Collins (1995) foi um dos primeiros artigos com o intuito de divulgar a QV no *Journal of Chemical Education*, e traz a ideia de uma QV ainda na sua fase inicial, que tinha objetivos que atualmente foram repensados, como a ideia de que tudo que polui poderia facilmente ser substituído por novas tecnologias, ou seja, uma ideia centrada na remediação e controle da poluição, o que se sabe que nem sempre é possível. Também trazia a idealização de que a QV era uma nova química, como explicita no seguinte trecho: “Meu próprio interesse foi estimulado

ainda mais à medida que comecei a compreender que a química verde se tornará uma disciplina intelectualmente desafiadora com sua própria forma. Além disso, acredito que seja realista antecipar que essa química levará a produtos de sucesso e a um grande mercado.” (COLLINS, 1995, p. 965 - tradução nossa).

Atualmente acredita-se que a QV tem que ser um novo processo de se fazer a química e não uma química diferente, o que já era discutido e apresentado por Anastas e Warner em sua obra "Green Chemistry: Theory and Practice" (1998), onde eles enfatizam que a QV representa uma mudança de paradigma na forma como se concebe e realiza a química, integrando princípios de sustentabilidade e redução de impacto ambiental em todos os processos químicos, ao invés de tratar a QV como uma disciplina separada ou alternativa à química convencional. O que corrobora essa ideia é a própria definição de QV proposta pelos autores, quando dizem que, a QV não é um ramo separado da química, mas sim uma abordagem que se aplica a todo o campo da química. Envolve uma mudança fundamental na forma como os produtos químicos e os processos químicos são concebidos, de modo a reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias perigosas.

Além disso, muitas das propostas apresentadas como resultado da disciplina proposta no artigo de Collins (1995) estavam dentro do escopo da química ambiental, não se alinhando com o que é definido como QV. Um ponto particularmente interessante é que um dos objetivos dessa disciplina é desafiar os alunos a refletirem sobre o potencial da QV, considerando sua emergência por volta de 1990, quando ainda era um campo novo e repleto de possibilidades.

No entanto, nos planos de ensino analisados até aqui, não foi observado estímulo para reflexões desse tipo, o que poderia enriquecer consideravelmente as discussões em sala de aula e impulsionar avanços em relação aos objetivos propostos neste artigo. É importante ressaltar que só é possível inferir estas possibilidades com base nas informações disponíveis nos planos de ensino, os quais podem não captar completamente a dinâmica e profundidade das discussões em sala de aula. Porém, incorporar atividades que incentivem a reflexão sobre o potencial e os desafios da QV poderia melhorar significativamente a qualidade do ensino e preparar os alunos para enfrentar os complexos problemas ambientais com uma abordagem mais holística e inovadora.

A referência de Anastas e Warner (1998) já foi bastante citada neste trabalho, e se refere a quando estes dois autores publicaram o livro *Green Chemistry Theory and Practice* (1998), que fornece o primeiro tratamento introdutório dos processos de concepção, desenvolvimento e avaliação centrais à QV e foi onde delinearam os 12 princípios da QV. Haja visto a relevância desta obra, o fato de a mesma ser utilizada como referência não é uma limitação ou problema

quando se pretende ensinar QV, porém estes mesmos autores publicaram inúmeros outros trabalhos mais recentemente (ANASTAS. BEACH, 2008; ANASTAS; EGHBALI, 2010; ANASTAS *et al.*, 2018) reorganizando ideias e avançando nas compreensões e no papel da QV, então, entende-se que se focar apenas nessa pioneira publicação e não avançar se torna um limitante ao desenvolvimento da QV.

Aliás, os dois autores são considerados co-fundadores do conceito de QV, e Anastas é amplamente considerado o “pai da química verde”, e ambos foram recentemente premiados em 2022 com a prestigiosa *August Wilhelm von Hofmann Commemorative Medal*, da Sociedade Alemã de Química. Essa medalha é concedida a indivíduos da Alemanha e do exterior que alcançaram grandes feitos na química. Dada sua notoriedade na área, outras referências de Anastas aparecem novamente nas disciplinas analisadas, mas nenhuma delas são as atuais, que trazem novas reflexões e contribuições deste importante pesquisador.

Outros dois autores utilizados como referência nas disciplinas analisadas são Clark e Macquarrie (2002) com a obra *Handbook of Green Chemistry & Technology*, que foi organizada e editada pelos autores citados, a qual contempla os desafios para os químicos e outros que é desenvolver novos produtos, processos e serviços que obtenham benefícios sociais, econômicos e ambientais. Isto requer uma abordagem que reduza a intensidade de materiais e energia dos processos e produtos químicos; minimiza a dispersão de produtos químicos nocivos no meio ambiente; maximiza a utilização de recursos renováveis e amplia a durabilidade e reciclabilidade dos produtos de uma forma que aumenta a competitividade industrial, bem como melhora a sua imagem manchada.

Além dos citados desafios, os autores também analisam as oportunidades que estes fatores oferecem à química e às indústrias químicas. Essa obra é vasta e riquíssima em material sobre todas as áreas da química e da QV, sendo um importante referencial a se basear ao se discutir práticas de QV e suas relações com a sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável, porém, como já discutido anteriormente, a minoria dos planos traz essas relações, e dentre aqueles que elencam especificamente Clark e Macquarrie (2002), 3 deles não tratam sobre essas relações. Ou seja, existe uma referência clássica, porém não explorada dentro do próprio plano da disciplina.

Lancaster (2002) publicou um livro pela *Royal Society of Chemistry* intitulado “*Green Chemistry: An Introductory Text*”, que é indicado para cursos de graduação e pós-graduação que abrangem a QV, o qual incentiva novas formas de pensar sobre e como os processos são desenvolvidos. O autor afirma que este livro tem como objetivo ser um manual para os químicos que tentam desenvolver novos produtos e processos para o século XXI, que estes satisfaçam as

exigências de uma sociedade que deseja novos produtos e melhor desempenho, porém com um preço financeiro e ambiental mais baixo. Existe uma versão revista e atualizada deste livro que data de 2016, porém esta não é referenciada em nenhuma das disciplinas.

Dentre as 2 referências de autores brasileiros utilizada nos planos uma delas é a de Lenardão *et al.* (2003), que é pioneira em nosso país em divulgar os 12 princípios da QV e sintetizar a forma como têm sido aplicadas as atividades acadêmicas, industriais e de investigação em todo o mundo. É um texto de fácil compreensão, que ajudou a impulsionar as pesquisas e estudos em QV no Brasil, porém não a problematiza e em alguns aspectos já está defasado. Existem outros autores um pouco mais atuais que fazem um trabalho semelhante em língua portuguesa que também poderiam ser utilizados (FARIAS; FÁVARO, 2011; MACHADO, 2012).

Outra referência, essa um pouco mais específica a uma área, citada nos planos das disciplinas é Sheldon, Arends e Hanefeld (2007), que remete a um livro de QV e catálise, e fornece uma referência essencial para qualquer laboratório de pesquisa interessado em síntese química limpa, e destaca a importância dos esforços acadêmicos em desenvolvimento para otimização de novos processos catalíticos para um ambiente verde e indústria química sustentável. Uma renomada referência que pode ser combinada com novos e atuais estudos sobre catálise (DELIDOVICH; PALKOVITS, 2016; SHELDON, 2017).

A referência de Tundo, Perosa e Zecchini (2007) é um livro baseado na terceira edição da *Collection of Lectures of the Summer Schools on Green Chemistry*, realizada em Veneza, Itália nos verões de 1998 a 2003. Os autores afirmam que o livro visa estimular e promover os aspectos da QV e seu importante papel na garantia do desenvolvimento sustentável. Os temas abordados no livro são extensamente abordados em artigos recentes da área, visto que a coleção de palestras na qual se baseia o livro data de mais de 20 anos atrás (SHELDON, 2017; CLARK *et al.*, 2016; HOWARD-GRENVILLE *et al.*, 2017).

A última referência mais citada e a segunda de origem brasileira é a de Corrêa e Zuin (2009) e faz parte da Série de Textos das Escolas de Verão em Química (EQV). Neste livro são descritos os conceitos da área de QV em uma linguagem simples com foco em alguns de seus princípios, com exemplos de aplicação na indústria com objetivo de demonstrar a importância da QV em todos os setores, e também foram relatadas experiências das próprias autoras e de outros pesquisadores da área. Um livro de leitura fluida e rápida, que poderia estar atualizado e acompanhado de trabalhos recentes das autoras, em especial Zuin, que publica amplamente na área com diversos outros autores de renome (ZUIN *et al.*, 2021; GOMES; ZUIN ZEIDLER, 2023; SJÖSTRÖM; EILKS; ZUIN, 2016).

Como ressalva final sobre este tópico, destaca-se que a disciplina da UESC apresenta apenas uma referência relacionada à QV, a de Anastas e Warner (1998) e todas as outras são relacionadas à química ambiental ou engenharia e indústria, apesar da disciplina ter o nome de “Química Verde” e ser optativa para a licenciatura, não fica claro qual o intuito dessas referências. No plano da disciplina “Princípios e aplicações de Química Verde” para o curso de Química Medicinal, são elencadas diversas referências sobre química orgânica, outras relacionando a química à medicina e nenhuma com relação à QV.

O único fragmento onde aparece a QV é no trecho final que traz “Outras fontes: sites de Química Verde, artigos PubMed”. Algo que deixa dúvidas sobre: quais compreensões sobre QV têm sido utilizadas nesta disciplina, que sites são esses, que tipo de material os alunos recebem para estudo? São muitos questionamentos sem resposta. E uma das disciplinas analisadas não apresenta referências, que é a UFF intitulada “Química Verde”, que só apresenta a ementa e o conteúdo programático, também originando vários questionamentos sobre o teor dessa disciplina e quais encaminhamentos são dados aos alunos.

Como evidenciado pela análise realizada nesta categoria, os planos das disciplinas propõem um ensino de QV por meio da apresentação, de certa teorização e aplicação dos 12 princípios da QV, vários deles numa perspectiva instrumental de relacionar o tema estudado com uma aplicação prática em laboratórios. Nenhum deles pressupõe discussões sobre as limitações da QV e/ou suas potencialidades, apenas uma reprodução de métodos. A maioria dos autores utilizados como referencial das disciplinas são considerados clássicos da QV, o que não é um problema, pois são os precursores, porém eles mesmos já se atualizaram e continuam publicando sobre a temática da QV, muitas vezes trazendo superações de compreensões que não têm sido abordadas nas disciplinas, vide as informações constantes nas mesmas. Importante lembrar que estes dados são limitados no que diz respeito à essas conclusões, portanto são realizadas inferências baseadas no material escrito e publicado, pois não foi possível observar e acompanhar como são desenvolvidas as disciplinas de maneira ativa.

### **Categoria 2: Transitando entre novos e antigos paradigmas**

Nesta categoria são analisados os planos das disciplinas que buscam ampliar o ensino da QV para além da aplicação dos 12 princípios da QV, mas prevê problematizações e discussões sobre a mesma. Foram elencados apenas 2 planos nesta categoria, e os mesmos serão esmiuçados a seguir.

A disciplina “Tópicos especiais em química orgânica: Química orgânica verde” da UFBA é uma disciplina de caráter teórico-prático, sendo 1h dedicada à teoria e 3h dedicadas à

prática, perfazendo o total de 4h semanais. Os objetivos da disciplina resumem as ideias constantes em todo o plano da mesma:

“Apresentação e execução de técnicas e metodologias que reduzam ou eliminem a geração de poluentes, e utilizem recursos naturais e energéticos de forma mais segura e eficiente. Abordar a importância da Química Verde em todos os setores, da academia ao seu emprego na indústria química. A disciplina também tem por objetivo a formação de um estudante crítico e comprometido com os problemas ambientais, capacitando-o a estabelecer mecanismos que minimizem o impacto ambiental de processos químicos” (Plano da disciplina Tópicos especiais em química orgânica: Química orgânica verde da UFBA).

Seguindo estes objetivos, o conteúdo programático inicia com a introdução à QV por meio de sua concepção e exemplos históricos. Não fica claro exatamente se são abordados os contextos históricos de emergência e desenvolvimento da QV, mas contrapondo com as referências utilizadas no plano infere-se que existe grande possibilidade de haver essa abordagem, pois utiliza o texto de Lenardão *et al.* (2003) que traz essa perspectiva. Na sequência, são abordados os 12 princípios da QV e os fatores de avaliação de procedimento e processo em QV, o cálculo do fator E.

Neste tópico é contemplado o conteúdo de métricas, ainda que por meio de uma delas, porém o docente se utiliza da referência de Machado (2014), amplamente citada neste trabalho. Em seguida, o plano traz o tópico “Remediação versus proteção. Medidas de sustentabilidade de processos e procedimentos”, abrangendo as discussões referentes à sustentabilidade e QV. O plano lista alguns experimentos de QV e destaca-se aqui o último deles: “Miniaturização de experimentos tradicionais de química orgânica”, o qual evidencia a importância da discussão sobre microescala.

A utilização da microescala na QV é fundamental por diversos motivos. Em primeiro lugar, reduz significativamente a quantidade de reagentes e solventes utilizados, o que diminui a geração de resíduos e alinha-se com o princípio de prevenção da QV. Além disso, operações em microescala são mais seguras, envolvendo menores quantidades de substâncias perigosas, o que reduz os riscos de acidentes. A eficiência de recursos é maximizada, permitindo a realização de mais experimentos com menos material, promovendo economia, especialmente com reagentes caros ou raros. Trabalhar em microescala também diminui o impacto ambiental associado à produção e descarte de materiais, reduz os custos operacionais de laboratórios, e facilita a implementação em ambientes com recursos limitados. Além disso, desenvolve habilidades precisas nos pesquisadores, acelera a otimização de reações e processos, e pode simular condições industriais em menor escala, fornecendo dados valiosos para aplicações em

larga escala. Em resumo, a microescala promove eficiência, segurança e sustentabilidade, contribuindo para práticas químicas economicamente viáveis e ambientalmente responsáveis (JIMÉNEZ-GONZÁLEZ; CONSTABLE, 2011).

Como finalização do conteúdo programático da disciplina, é abordada a QV nas indústrias: “(...) aspectos industriais da química verde, tendências recentes, matérias primas renováveis, fontes de energia alternativas. Estudos de caso. Projeto integrado de processos químicos verdes”.

Além dos já citados autores que são elencados nas referências, o plano traz também àqueles clássicos, além de um livro sobre química orgânica experimental com abordagens de QV de autoria de Corrêa *et al.* (2016). No final, amplia e deixa em aberto essa questão quando elenca a referência 7: “Artigos científicos da literatura atual”, os quais podem ou não contemplar referências mais atuais e problematizadoras da área de ensino de QV ou só de QV.

A análise do conteúdo programático desta disciplina revela uma abordagem mais abrangente e mais estruturada em relação à QV. A inclusão de práticas experimentais e as discussões sobre sustentabilidade e aplicações industriais enriquecem a formação dos alunos. A menção à literatura atual como uma referência em aberto pode sugerir um convite à reflexão contínua e posterior incorporação de novas perspectivas, e pode incentivar a pesquisa e exploração constante dentro da área, se tornando um bom preparo para os alunos.

O plano da UNICAMP traz a disciplina intitulada “Introdução à Química Verde” a qual dá início aos conteúdos pelo conceito de Sustentabilidade, o que parece bem fundamentado pelas três referências utilizadas com essa temática (KIRCHHOFF, 2005; SILVA; LACERDA; JONES, 2005; GROSS, 2013). O plano segue apresentando o histórico da QV, por meio de uma introdução histórica e definição de QV. Na sequência são apresentados os já esperados 12 princípios da QV e os autores clássicos para esse fim são também utilizados (ANASTAS; WARNER, 1998; LANCASTER; 2002; CORRÊA; ZUIN, 2009; LENARDÃO *et al.*, 2003). Na sequência, o item 4 do programa da disciplina prevê o estudo de “Métricas e análise do ciclo de vida”, porém não há nenhuma referência específica para esse fim, nem é explicitado no restante do plano como se dá esse estudo. O tópico 5 do programa traz: “Exemplos de química/tecnologia auto-sustentável que foram desenvolvidos abrangendo as áreas da Química, incluindo a Química Orgânica, Inorgânica, Analítica, Físico-Química, Química Industrial, Química de polímeros, Química Ambiental e Bioquímica”, mas também não se discute exatamente como será contemplado todo este tópico considerando a diversidade de áreas citadas. No final do plano são elencados os objetivos da disciplina, os quais são:

“Transmitir ao aluno de graduação os princípios norteadores da Química Verde; - Incentivar o aluno e promover sua conscientização sobre a importância da adoção de procedimentos limpos no meio acadêmico e na indústria; - Aprofundar os conhecimentos científicos no domínio das metodologias e tecnologias químicas que permitem a prática de uma Química mais ambientalmente amigável e - propor medidas que minimizem ou eliminem a utilização de reagentes de alto risco e a busca de alternativas inovadoras” (Plano da disciplina Introdução à Química Verde da UNICAMP).

O docente ainda traz uma observação final, de que a proposta dessa disciplina se baseia em um

“treinamento que o docente recebeu durante o workshop Train-the-trainers (TTT) Brasil, organizado pela Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (The United Nations Industrial Development Organization - UNIDO) em parceria com Instituto Senai de Inovação em Química Verde (ISI – QV) e com o Centro de Química Verde e Engenharia Verde da Universidade de Yale (Center for Green Chemistry and Green Engineering at Yale), seguindo a metodologia e material didático fornecidos pela Universidade de Yale” (Plano da disciplina Introdução à Química Verde da UNICAMP).

Na análise desta disciplina os objetivos da mesma refletem um compromisso em ir além da aquisição do conhecimento teórico, mas também promover uma conscientização sobre a importância de adotar práticas limpas e ambientalmente amigáveis tanto na academia quanto na indústria. A menção do docente ao treinamento recebido no workshop demonstra seu comprometimento em buscar qualidade e relevância para embasar sua disciplina. Portanto, apesar de algumas lacunas identificadas, a disciplina apresenta uma proposta alinhada com os conteúdos esperados de QV. Ela inclui métricas e análises de ciclo de vida e busca abranger a QV em todas as áreas da química, preparando os alunos para a busca de soluções sustentáveis e inovadoras.

### **Categoria 3: Problematizando limites e possibilidades para a QV**

Nesta categoria são analisados os três planos que propõem o ensino da QV promovendo reflexões, discussões sobre o contexto histórico com ênfase em seu potencial de ação transformadora. Os conhecimentos da QV são articulados a partir das questões ambientais e as potencialidades e limites da QV são questionados.

A disciplina “Introdução à Química Verde” ofertada pela UFSCAR não deixa claro se é uma disciplina eletiva ou obrigatória, porém só consta a informação de que é oferecida para o curso de licenciatura em Química da instituição. A ementa da disciplina apresenta a seguinte estrutura:

1. Evolução histórica da Química Verde;
2. Os princípios da Química Verde;

3. Estudo de casos voltados à aplicação da Química Verde em vários setores, como o industrial, acadêmico e da educação básica;
4. Planejamento, aplicação e análise de um projeto que compreenda os princípios da Química Verde” (Plano da disciplina Introdução à Química Verde da UFSCAR).

De acordo com a ementa já é possível constatar elementos de conteúdos de QV elencados como necessários e mínimos quando se prevê o ensino de QV. Os objetivos gerais corroboram o item 1 da ementa, e reforçam que esse contexto histórico do desenvolvimento da QV é apresentado aos alunos e na descrição da disciplina está definido que serão 8h/aula dedicadas para este fim, por meio de material bibliográfico indicado pela docente.

O estudo dos princípios da QV indicado no item 2 da ementa são enfatizados nos objetivos gerais por meio de suas aplicações, mas de acordo com as outras informações constantes no plano os princípios são conceitos que estarão presentes nas outras etapas do desenvolvimento da disciplina. Para atingir o objetivo “1. Dar subsídios para a compreensão e análise das implicações científicas, tecnológicas, sociais e ambientais relacionadas aos processos químicos utilizados no sistema produtivo”, serão dedicadas 8h para a temática “Emergência da QV - relações Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente” e 16h de “Química Verde em diversos contextos - pesquisa, educação, extensão e indústria”. Os tópicos citados anteriormente são muito importantes para que se desenvolvam as estratégias de ensino e avaliação propostas pela docente.

A metodologia da disciplina consiste no desenvolvimento de estudos de casos ou projetos didáticos a partir de temas relevantes da QV voltados à aplicação da mesma em vários setores, como o acadêmico, industrial, mas, principalmente, da educação básica. São dedicadas 28h para as proposições e desenvolvimento destes projetos. Os alunos têm papel bastante ativo nesta disciplina, sendo os responsáveis pelas proposições dos projetos com base nos estudos realizados na introdução da disciplina, sempre levando em conta o contexto da emergência da QV e as perspectivas e desafios para sua inserção.

Os referenciais bibliográficos utilizados neste plano de ensino contém os clássicos já citados na categoria anterior mas amplia as opções, incluindo autores mais recentes e que trazem discussões problematizadoras da QV: Zuin e Mammino (2014) que discutem, junto com outros autores, as tendências mundiais no ensino da QV; Eilks e Rauch (2012), que são os organizadores e editores do número especial do periódico *Chemistry Education Research and Practice* que publicou 13 artigos sobre desenvolvimento sustentável e QV no ensino de Química; Zuin e Marques (2014) onde os autores discutem as relações entre desenvolvimento sustentável, QV e educação ambiental no Brasil; Sjöström, Eilks e Zuin (2016), problematizam as limitações da química verde no que diz respeito à educação e argumenta que, no contexto da

educação, a filosofia da QV precisa ser ampliada com perspectivas sócio-críticas, para formar cidadãos capazes de compreender a complexidade do mundo e tomar decisões baseadas em valores, sendo capazes de se envolver de forma mais profunda nas questões democráticas sobre sustentabilidade.

Dentre os conteúdos elencados como primordiais para o ensino da QV, esta disciplina não apresenta no plano discussões sobre métricas e, apesar de não indicar de forma direta o tema da sustentabilidade, esse tema está presente quando aborda as relações de Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente. Porém, as discussões de caráter sócio-crítico abrangem as problematizações e se aproximam das reflexões necessárias para discutir os limites da QV.

Na UFSC há a disciplina “Introdução à Química Verde”, ofertada na modalidade eletiva para a licenciatura e o bacharelado, sendo uma 1h para a prática e 1h para aula teórica, totalizando 2h semanais. A disciplina propõe um plano robusto contendo todas as informações necessárias para que o aluno compreenda como se dará a disciplina e também para outros docentes que queiram detalhes da mesma. É possível perceber a intrínseca relação da QV com a sustentabilidade pois é a partir dessa relação que a disciplina é iniciada, sendo elencado como tópico 1 do conteúdo programático.

Na sequência são abordados os 12 princípios da QV e discutida a importância da QV a partir deles. O próximo tópico do conteúdo programático são as métricas sendo abordadas desde a natureza das métricas, as métricas clássicas da química, as métricas de massa até chegar às métricas holísticas de química sendo aplicadas a situações de ensino. Para essa abordagem é utilizada a referência de Machado (2014), assim como o Portal Educa em Portugal (<http://educa.fc.up.pt/>), que é uma página que promove e divulga a QV para diversos níveis de ensino. Nesta página há diversos materiais pedagógicos sobre o ensino da QV, também experimentos para se calcular a química das reações e processos envolvidos por meio de diferentes métricas, incluindo a estrela verde. A disciplina prevê como parte da metodologia um ensaio que proponha um roteiro experimental contendo uma análise de química, então a compreensão das métricas e estudos por meio deste portal serão necessários.

Outro conteúdo programático desta disciplina é a obtenção e o uso de informações sobre perigo de substâncias químicas a partir do Sistema Global Harmonizado para a Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS), e para isso os alunos deverão “saber obter e empregar informações sobre segurança de substâncias químicas a partir do GHS”. Sobre este tópico, é elencado:

“4. GHS como instrumento de informações sobre a (in)segurança de substâncias químicas.

4.1. Histórico sobre o GHS

- 4.2. Leitura das fichas
- 4.3. A importância e os limites sobre degradabilidade e renovabilidade dos produtos químicos.
- 5. Alternativas ao problema da (in)segurança dos produtos químicos no âmbito ambiental, físico e pessoal.
  - 5.1. Perigo Potencial e Real
  - 5.2. Risco *versus* Perigo. Exposição.
  - 5.3. Tipos de perigos: físico, pessoal e ambiental” (Disciplina Introdução à Química Verde da UFSC).

De acordo com o *United Nations* (2019) o GHS estabelece critérios harmonizados para categorizar as substâncias conforme seus perigos físicos, para a saúde humana e o meio ambiente. Além disso, incorpora diretrizes harmonizadas para a comunicação dos riscos, incluindo padronização de etiquetas, símbolos de alerta e fichas de segurança. Vale ressaltar que este é o único plano de disciplina que contém essas informações e prevê a discussão e ensino sobre riscos, perigos e segurança, algo extremamente importante no ensino de química, mas que muitas vezes é negligenciado ou ignorado, ficando os alunos durante as aulas e depois em suas atuações profissionais sendo colocados e colocando outros em riscos por eles desconhecidos.

Como fechamento da disciplina é esperado que os alunos sejam capazes de “elaborar alternativas às atividades experimentais clássicas em laboratórios de ensino sob o prisma da QV”, ou seja, os alunos farão análises de forma crítica e comparativa de algumas atividades experimentais clássicas no curso de química utilizando os conhecimentos adquiridos sobre QV e métricas.

Com relação às referências, além das já citadas aqui, a disciplina se baseia nas referências clássicas da QV e a mais recente delas data de 2016, um livro intitulado “Química para um futuro sustentável”, que foi organizado pela *American Chemical Society*, e aborda os processos químicos a partir de questões de contextos reais e de interesse da sociedade.

Após a lista de referências há uma listagem em tópicos do que se compreende como os conteúdos da disciplina elencados de forma mais detalhada. É nessa listagem que se percebe a profundidade e contextualização da disciplina, que parte de discussões sobre as relações da Química e do ambiente, passando pelos conceitos de desenvolvimento sustentável, as dificuldades existentes para se praticar QV, discutindo vários exemplos de estudos de caso da química como criadora de problemas e casos em que com a QV se obteve sucesso, casos de falsa verdura química, relações da química com a economia, a necessidade de uma mudança sistêmica na química para que haja uma reformatação da química para a QV. Todos esses tópicos resumidos e citados demonstram a não linearidade dos conhecimentos e a complexidade que se impõe quando se dispõe a praticar a QV.

A disciplina da UFSC propõe um plano de ensino bastante diferente de todos os analisados até então. Não fica na obviedade de apresentar e exemplificar os 12 princípios da QV, apesar de destacá-los como importantes e necessários para a prática da mesma. Destaca-se a interligação entre a QV e a sustentabilidade desde o início do curso, além de trazer a atenção para a classificação GHS, sendo esta noção de riscos muitas vezes ignorada no ensino de química, mas crucial para conscientização e segurança dos alunos e seus pares. A profundidade dos tópicos abordados destaca a complexidade da Química Verde e sua importância para enfrentar os desafios contemporâneos.

A última disciplina a ser analisada é a da UNIFESP intitulada “Química Verde: epistemologia dos sentidos e racionalidades”. É uma disciplina eletiva ofertada no campus Diadema, para os cursos de bacharelado e química industrial. Diferente de todas as disciplinas abordadas e discutidas nessa análise, a natureza dessa disciplina não é voltada à ensinar técnicas e definições sobre a QV, mas se pauta em “Analisar os fundamentos epistemológicos que sustentam as produções científicas em estudos empíricos sobre a Química Verde, os sentidos atribuídos e a relação estabelecida com as racionalidades Instrumental e Substantiva”, de acordo com o objetivo geral da mesma.

Partindo das referências utilizadas para embasar essa disciplina, já se percebe que ela tem objetivos distintos das outras, pois a única referência clássica de QV utilizada aqui é a de Anastas e Warner (1998), todas as outras são relacionadas a discussões de teor filosófico, epistemológico, econômico, sendo clássicas também em suas devidas áreas, como O Capital de Marx (1974), Adorno e Horkheimer (1986), Almeida (2002).

Os objetivos específicos desta disciplina são extremamente relevantes, sendo importante destacá-los:

“Conhecer as bases epistemológicas do desenvolvimento da Química Verde a partir dos sentidos atribuídos a essa nova proposta da prática Química.  
Compreender a relação existente entre a questão socioambiental, o químico e o modo de praticar Química em uma sociedade sustentada pelas leis mercadológicas.  
Conhecer como a base filosófica da ciência moderna na sua vertente racional instrumental é o principal arcabouço teórico de formação e qualificação do profissional da química, dotando-o de um perfil adequado às leis da sociedade de mercado, ao mesmo tempo em que o transforma em um instrumento do capital para manter a lógica das relações de produção do mundo contemporâneo.  
Compreender como profissionais da área tendo a razão substantiva como imanente à sua condição humana, agem movidos pela razão instrumental, que não lhe é própria, mas imposta exteriormente e como isso se reflete no Ensino de Química e em pesquisas na área” (Disciplina Química Verde: epistemologia dos sentidos e racionalidades da UNIFESP).

Para atingir os objetivos listados, a disciplina propõe iniciar com a “crise socioambiental planetária: a busca para o entendimento de uma situação (in)sustentável” indo em direção às

discussões das relações da química com a sustentabilidade e essa busca constante. Na sequência são problematizadas as diferenças entre a Química Ambiental e a QV, a primeira como remediação do problema e a segunda com ação preventiva na geração destes problemas socioambientais. Também discute o “desenvolvimento da comunidade epistêmica Química Verde” e reflete sobre seus sentidos. Ao final, aborda a “circulação do conhecimento da Química Verde” e como isso influencia no ensino de química e na formação do profissional da área.

Refletindo sobre todas as disciplinas analisadas, essa disciplina adota uma perspectiva mais ampla, analisando os fundamentos epistemológicos que sustentam as produções científicas nessa área e explorando os sentidos atribuídos e as racionalidades envolvidas. Ao analisar os objetivos específicos da disciplina, todos são consideravelmente relevantes e abrangentes. Os alunos estão aptos a conceber de maneira mais profunda o cenário em que a QV está estabelecida quando conhecem as bases epistemológicas da evolução da QV e assimilam as conexões entre o tema socioambiental, o papel do químico e o modo que se pratica a química em uma sociedade norteada pelas leis mercadológicas. Também são levados à reflexão sobre seu papel como impulsionadores de mudança na sociedade quando se examinam as bases filosóficas da ciência moderna, de forma especial a racionalidade instrumental, e de como isso tem influências na prática do profissional da área da química.

A forma como a disciplina está estruturada, partindo da análise da crise ambiental planetária e progride para as relações entre a química e a sustentabilidade, o desenvolvimento da QV e a circulação de conhecimentos na área, propicia uma percepção global e interdisciplinar do tema. Esse tipo de abordagem qualifica os alunos a pensar criticamente sobre questões complexas relacionadas à ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. Essa disciplina não contempla todos os pré-requisitos elencados para compor esta categoria, mas vai além destes. Com essa análise, uma proposta viável é que antes de se discutir princípios de QV, métricas e técnicas de laboratório os alunos devam iniciar seus estudos em QV por meio de suas bases filosóficas, como propõem esta disciplina, que além de prepará-los para buscar as ferramentas para enfrentamento dos desafios técnicos da área, também os prepara para serem agentes da mudança, conscientes e comprometidos com as questões socioambientais.

#### **4.3.3 Síntese das análises**

Considerando os dados obtidos e fazendo um comparativo com resultados de outros estudos (ALMEIDA *et al.*, 2019; GOMES *et al.*, 2022; VAZ; GIROTTO JUNIOR; PASTRE,

2024), ainda que distintos em escopo e abrangência amostral, podemos concluir que a inserção da QV por meio de disciplinas nos cursos de Química existentes em IES públicas no país é ainda incipiente, mas com inegáveis avanços. Por outro lado, neste trabalho não foi selecionada apenas uma modalidade de curso (bacharelado ou licenciatura, por exemplo), de modo que os resultados sobre a oferta de disciplinas/conteúdos de QV no ensino da Química mostram que não estão relacionadas à modalidade do curso, exemplo disso é que mesmo cursos de Química voltados à formação para atuação na indústria não apresentam o ensino da QV.

A análise dos planos de disciplinas que abordam diretamente a QV, foi separada em três categorias. Dos 20 planos analisados, 15 se enquadram na Categoria 1, que concentra a análise em como os planos abordam e exploram os princípios da QV. Todos os 15 planos analisados apresentam a organização das disciplinas baseada nos 12P da QV, mencionando o termo na ementa e/ou conteúdo, ou citando cada princípio individualmente. Por exemplo, o plano da disciplina “Princípios e Aplicações de QV” da UFCSPA, menciona como objetivo geral apresentar aos alunos os princípios de QV e avaliar suas aplicações em diversas áreas da saúde. Na UFF, a disciplina “Química Verde” inclui na ementa a inserção dos 12P nas atividades de ensino e pesquisa, mas não detalha essa inserção.

A disciplina “Química Ambiental III” da USP se destaca por incluir atividades didáticas desenvolvidas em visitas técnicas, como a estações de tratamento de águas e efluentes industriais, o que evidencia o compromisso em proporcionar uma formação prática e crítica aos alunos, contextualizando os conceitos teóricos de QV. Isso estimula uma reflexão crítica sobre problemas ambientais e incentiva uma abordagem mais responsável em suas futuras carreiras. A abordagem dos princípios da QV nas disciplinas é esperada, já que, historicamente, a divulgação dos 12P tem sido uma forma de introduzir a QV no meio acadêmico. Contudo, a falta de problematização desses princípios pode limitar tanto o ensino quanto a evolução da QV. Machado (2014) destaca que a aplicação simplista dos princípios pode resultar na chamada “falsa Química Verde”, onde práticas aparentemente verdes não cumprem verdadeiramente os objetivos de sustentabilidade. Para superar isso, sugere-se uma abordagem holística e a incorporação de métricas para avaliar essas práticas.

Além dos princípios da QV, os planos das disciplinas frequentemente mencionam o contexto histórico da QV, fornecendo uma compreensão evolutiva dos conceitos e ideias que formaram essa área. No entanto, poucos planos detalham como essa abordagem histórica é

desenvolvida em sala de aula, sendo a disciplina da UFF uma exceção ao mencionar a evolução da QV no Brasil. Algumas disciplinas também abordam a sustentabilidade em seus conteúdos programáticos. Por exemplo, a disciplina da UFOP menciona “sustentabilidade, energia e fontes químicas” e a UFF discute a relação entre química, sustentabilidade e meio ambiente. A disciplina “Práticas em Química Verde” da UFABC se destaca por comparar processos químicos verdes com processos tradicionais, uma estratégia eficiente para evidenciar as vantagens das práticas verdes. Marques et al. (2020) destacam essa abordagem como uma prática comum e eficaz no ensino da QV.

As referências bibliográficas utilizadas nos planos das disciplinas são clássicos da QV, como Collins (1995), Anastas e Warner (1998), Clark e Macquarrie (2002), e outros. Embora essas obras sejam fundamentais, a falta de referências mais recentes pode limitar o desenvolvimento da QV. Muitos dos autores citados continuam publicando trabalhos atualizados que poderiam enriquecer o ensino da QV nas disciplinas. Em suma, os planos das disciplinas da Categoria 1 propõem o ensino da QV através da apresentação e aplicação dos 12 princípios da QV, muitas vezes de forma instrumental e prática. No entanto, a ausência de discussões críticas sobre as limitações e potencialidades da QV, juntamente com a falta de referências atualizadas, indica uma necessidade de evolução no ensino da QV para superar a racionalidade instrumental e promover uma abordagem mais holística e integrada.

Já a análise dos planos das disciplinas classificadas na Categoria 2 revela uma abordagem mais ampla e estruturada em relação ao ensino da QV. Ao contrário da simples apresentação e aplicação dos 12 princípios da QV, esses planos buscam problematizar e discutir os conceitos e práticas associadas à QV, oferecendo aos alunos uma formação mais abrangente e crítica. O plano da disciplina "Tópicos Especiais em Química Orgânica: Química Orgânica Verde" da UFBA se destaca pela integração de práticas experimentais e discussões sobre sustentabilidade e aplicações industriais. Ao incluir a microescala como parte integrante das práticas laboratoriais, o plano demonstra um compromisso com a eficiência, segurança e sustentabilidade na realização de experimentos químicos. Além disso, a referência à literatura atual como uma fonte aberta sugere um convite à reflexão constante e à incorporação de novas perspectivas, preparando os alunos para uma busca contínua por soluções inovadoras e sustentáveis.

O plano da disciplina "Introdução à Química Verde" da UNICAMP também se destaca pelo compromisso em promover uma conscientização sobre a importância da adoção de práticas limpas e ambientalmente amigáveis tanto na academia quanto na indústria. A menção do docente ao treinamento recebido em uma iniciativa da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e da Universidade de Yale evidencia um esforço em buscar qualidade e relevância para embasar a disciplina, demonstrando um comprometimento com o aprimoramento contínuo do ensino da QV.

Apesar de algumas lacunas identificadas, como a falta de referências específicas para métricas e análise de ciclo de vida em um dos planos, as disciplinas desta categoria apresentam propostas alinhadas com os conteúdos esperados de QV. Elas proporcionam aos alunos não apenas conhecimentos teóricos, mas também habilidades e consciência necessárias para enfrentar os desafios contemporâneos relacionados à sustentabilidade e inovação na área química. Assim, essas disciplinas desempenham um papel fundamental na formação de uma nova geração de profissionais capazes de promover uma química mais responsável e sustentável.

A análise das disciplinas categorizadas na categoria 3: Problematizando Limites e Possibilidades para a Química Verde, revela uma abordagem mais profunda e reflexiva sobre o tema. Enquanto algumas disciplinas se concentram na apresentação dos princípios básicos da QV e sua aplicação prática, outras vão além, explorando as implicações epistemológicas, socioambientais e filosóficas dessa abordagem na prática química contemporânea.

A disciplina "Introdução à Química Verde" da UFSCAR, por exemplo, se destaca por sua abordagem que vai desde a evolução histórica da QV até a análise crítica das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. Ao promover a reflexão sobre os fundamentos epistemológicos e as racionalidades que permeiam a prática da QV, os alunos são capacitados não apenas a compreender os princípios técnicos da QV, mas também a se tornarem agentes de mudança conscientes e comprometidos com questões socioambientais. Da mesma forma, a disciplina "Química Verde: Epistemologia dos Sentidos e Racionalidades" da UNIFESP adota uma abordagem interdisciplinar e crítica, explorando as bases filosóficas da ciência moderna e sua influência na prática profissional dos químicos. Ao analisar os sentidos atribuídos à QV e as racionalidades envolvidas, os alunos são incentivados a questionar e repensar suas próprias práticas e assumir um papel mais ativo na busca por soluções sustentáveis. Essas disciplinas oferecem uma perspectiva mais ampla e contextualizada da QV, preparando os alunos não

apenas para aplicar os princípios técnicos, mas também para entender as complexidades e os desafios associados à prática da QV na sociedade contemporânea. Ao promover a reflexão crítica e o engajamento com questões socioambientais, essas disciplinas contribuem para a formação de profissionais mais conscientes, responsáveis e comprometidos com um futuro sustentável. Portanto, fica evidente que, ao incorporar uma abordagem mais reflexiva e crítica sobre a QV, essas disciplinas desempenham um papel fundamental na formação de uma nova geração de profissionais capazes de enfrentar os desafios complexos e interconectados do mundo atual.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisar planos de ensino de disciplinas é um bom indicativo sobre como os professores pensam desenvolver o ensino e sobre a inserção de conteúdos novos e relevantes. Contudo, isso não significa que é exatamente como os/as professores o desenvolvem em sala de aula, o que exige acompanhamento na execução das disciplinas em sala de aula. Nessa pesquisa não foi possível executar esse acompanhamento dada a abrangência de nossa amostra, constituída de instituições universitárias distribuídas em todo o país. Outra limitação de nossa pesquisa reside na atualização dos planos de ensino que foram acessados diretamente nos sites das IES. Portanto, os dados, a análise e a discussão se deram a partir do material coletado, até meados de 2022.

Em nossa análise, os planos das disciplinas foram divididos em dois blocos, possibilitando uma compreensão mais completa e organizada dos dados: aqueles que tratavam diretamente sobre QV e aqueles que não tratavam diretamente sobre QV. Isso foi importante pois os níveis de aprofundamento e objetivos das disciplinas distinguem-se muito, dependendo do seu foco e dos objetivos. Assim, como o escopo da pesquisa era a QV e seu ensino, deu-se maior ênfase às disciplinas que tratam e se dirigem preponderante e diretamente sobre a mesma.

A análise dos 33 planos de ensino que não tratam diretamente sobre QV revela que, mesmo que na disciplina os conteúdos da QV tivessem um caráter mais enunciativo ou informativo e por vezes apartado do programa principal da disciplina, é muito positivo o movimento visando “incorporá-la” (conteúdos, práticas ou apenas apresentar seus 12 Princípios) nas disciplinas já existentes. Este avanço, embora modesto e gradual, julgamos ser essencial para a integração da QV em todo o currículo acadêmico dos cursos de Química. A inclusão da QV, mesmo que incipiente diante de sua importância à busca da sustentabilidade e a reformatação da Química – como sinalizada pela IUPAC, SBQ, CGEE e outras organizações da Química -, indica um reconhecimento crescente de sua importância.

A análise dos 20 planos de ensino de disciplinas que abordam diretamente a Química Verde (QV) revelou três categorias. A Categoria 1 inclui 15 planos que organizam as disciplinas em torno dos 12 princípios da QV, mas frequentemente de forma superficial e sem uma problematização profunda. A Categoria 2 abrange planos que oferecem uma abordagem mais crítica e estruturada, integrando práticas experimentais e discussões sobre sustentabilidade e

aplicações industriais. Já a Categoria 3 vai além da aplicação prática dos princípios, explorando implicações epistemológicas, socioambientais e filosóficas da QV. Essas disciplinas promovem uma reflexão crítica e um engajamento com questões socioambientais, preparando os alunos para serem agentes de mudança comprometidos com um futuro sustentável.

Ao finalizar essas análises, destacam-se elementos essenciais que devem ser integralmente incorporados ao ensino da QV. Primeiramente, o contexto histórico da QV emerge como um pilar fundamental, proporcionando uma compreensão contextualizada das motivações e desenvolvimentos que levaram à sua concepção. Esta contextualização temporal e espacial sensibiliza os alunos para a importância e relevância do tema, situando-os dentro de um panorama evolutivo.

Em seguida, a exploração detalhada dos 12 princípios da QV é imperativa, visando uma compreensão holística que não apenas valorize suas aplicações, mas também reconheça suas limitações. Em complemento a isso, o estudo das métricas se torna essencial, expandindo o conteúdo anterior e potencializando a capacidade dos alunos de implementar ações direcionadas a uma química mais limpa e sustentável, reduzindo seus impactos ambientais.

Adicionalmente, consideramos que a discussão e estudos sobre sustentabilidade se fazem igualmente necessárias à formação do Químico, garantindo que as práticas químicas sejam não apenas eficientes, mas também socioambientalmente responsáveis. Conforme estudos de Marques e Machado (2014) é crucial compreender os limites da própria sustentabilidade, evitando a concepção simplista de que a QV é a solução definitiva para todos os problemas ambientais, a entendendo como parte de um conjunto de medidas e abordagens. Nesse contexto, o ensino da QV deve ser proposto e problematizado dentro de um contexto social, ambiental e econômico mais amplo. É fundamental adotar perspectivas reflexivas, históricas e filosóficas que enfatizem o potencial transformador da QV, ao mesmo tempo em que reconhecem suas limitações e desafios, inclusive abordando questões termodinâmicas.

Por fim, é essencial buscar referências bibliográficas atualizadas que acompanhem a constante evolução do campo da QV, enriquecendo o ensino com os mais recentes avanços e perspectivas. Essa abordagem dinâmica e contextualizada é fundamental para preparar os alunos para enfrentar os desafios complexos e interdisciplinares da prática química contemporânea.

Para maximizar a repercussão positiva da QV no ensino consideramos crucial que a QV não seja apenas mencionada como um complemento técnico (de ecoeficiência), mas que seja profundamente integrada como um componente central e orientador da formação do químico, ou seja, a filosofia que orienta a sua formação. Em nosso juízo, isso requer uma revisão dos planos de ensino de todas as disciplinas curriculares visando incluir, entre outros, estudos sobre os princípios da QV; estudos de caso relevantes; práticas experimentais verdes; estudo e aplicação de métricas verdes; princípios de prevenção, precaução e o paradigma do Risco, sempre referenciadas em referências bibliográficas específicas e atuais da QV, por ser este um campo de pesquisa em desenvolvimento. Por fim, por mais difícil que seja, a abordagem técnica da química, fundada na racionalidade cartesiana, precisa evoluir para uma análise sistêmica, na perspectiva holística, em uma perspectiva sociocrítica.

Nos últimos anos, a educação tem passado por uma significativa transformação, especialmente no campo das ciências, onde a ênfase tem se deslocado da simples transmissão de conhecimentos para a adoção de metodologias que promovam uma aprendizagem contextualizada e centrada na vivência do aluno – especialmente quando consideramos os problemas do meio ambiente. Essa abordagem visa não apenas ensinar conteúdos, mas também desenvolver habilidades críticas e investigativas nos estudantes, preparando-os para enfrentar e resolver problemas complexos e para realizar pesquisas científicas. (PINHEIRO; BATISTA, 2018). Tal mudança é especialmente relevante na formação de futuros químicos, que precisam ser preparados para lidar com desafios inovadores, interdisciplinares e do contexto socioambiental.

Conforme apresentado no início deste trabalho e confirmado ao longo de sua realização, percebe-se que a hipótese inicial foi validada: a inserção da QV nas IES brasileiras é ainda incipiente, mas apresenta um crescimento gradual. Quando se compara o número de instituições que oferecem disciplinas específicas sobre QV com aquelas que não o fazem, torna-se evidente a necessidade urgente de discutir aspectos metodológicos, como conteúdos, perfil do profissional a ser formado e a contextualização com a sustentabilidade atual, para promover um aprofundamento e expansão da QV.

Ao longo deste estudo, ficou claro que o conhecimento sobre QV é essencial para enfrentar a crise ambiental e buscar a sustentabilidade. As inserções curriculares e didáticas voltadas à QV encontradas nas disciplinas analisadas mostram que ainda há muito a ser feito.

Muitas inserções se limitam à divulgação dos princípios da QV, sem abordar de forma adequada suas problematizações, limitações e ações concretas que podem ser implementadas no mundo real. As práticas químicas voltadas à QV podem ser fundamentais para estimular o aprofundamento necessário, e o estudo e uso de métricas no dia a dia dos laboratórios de ensino e pesquisa são ferramentas ainda pouco exploradas, mas com um imenso potencial para sensibilizar e motivar os futuros profissionais da química a buscarem alternativas alinhadas à QV em sua atuação profissional.

Consideramos que este trabalho é apenas um primeiro passo, mas um passo importante no acompanhamento daquilo que se poderia chamar de reformatação da Química em direção aos seus inequívocos compromissos com a salvaguarda do ambiente. É importante registrar que todo o esforço realizado até agora pelos pesquisadores e professores que pesquisam e ensinam QV é relevante e contribui significativamente para a construção de um ideal sobre como ensinar QV e como ela deve ser integrada nos currículos. Pesquisas futuras poderiam focar no acompanhamento de professores das disciplinas que ensinam QV, visando observar, problematizar e apontar caminhos para melhorar as práticas atuais, bem como divulgar mais amplamente as metodologias bem-sucedidas e aceitas pelas IES, pelos alunos e pelo corpo docente. A promoção da QV e das práticas de sucesso é essencial para aumentar sua inserção no ensino, com o objetivo de que, no futuro, QV não seja vista como um elemento isolado da química, mas sim como uma parte integral e transversal dos currículos dos cursos de química, orientando todo o ensino e pesquisa na área.

## REFERÊNCIAS

ABELL, S. Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? **International Journal of Science Education**, 30(10), p. 1405-1416, 2008.

ACS. 12 Principles of Green Chemistry. Disponível em:  
<<https://www.acs.org/greenchemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html>>.  
Acesso em: 11 de setembro de 2023.

ADORNO, T.; HORKHEIMER, M. **Dialética do esclarecimento**. São Paulo, SP: Zahar, 1985.

ALMEIDA, F. **O bom negócio da sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 2002.

ALMEIDA, Q. A. R. *et al.* Química Verde nos cursos de Licenciatura em Química do Brasil: mapeamento e importância na prática docente. **Amazônia - Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, 2019, 15, 34.

ALVES, A. F. S.; VIRGENS, C. S. **Análise do processo de produção de biodiesel através da métrica de círculo verde em química verde**. Trabalho de Conclusão (Curso Técnico em Biocombustíveis). Instituto Federal da Bahia, Irecê, 2016.

ANASTAS, P. T.; WARNER, J.; **Green Chemistry: Theory and Practice**, Oxford University Press: Oxford, cap. 1, 1998.

ANASTAS, P.T. KIRCHHOFF, M.M. Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry. **Acc. Chem. Res.**, 2002, vol.35, n.9, p. 686-694.

ANASTAS, P. T.; BEACH, E. S. Green chemistry: the emergence of a transformative framework. **Green Chemistry Letters and Reviews**, v. 1, n. 1, p. 9–24, mar. 2008.

ANASTAS, P.; WOOD-BLACK, F.; MASCIANGIOLI, T.; MCGOWAN, E. & RUTH, L. Exploring opportunities in green chemistry and engineering education: a workshop summary to the chemical sciences roundtable. Washington DC: **The National Academy Press**, 2007.

ANASTAS, P. T.; EGHBALI, N. Green chemistry: principles and practice. **Chemical Society Reviews**, v. 39, n. 1, p. 301–312, Jan. 2010.

ANASTAS, P. T. *et al.* The Green ChemisTREE: 20 years after taking root with the 12 principles. **Green Chem.**, 20(9), 1929–1961, 2018. doi:10.1039/c8gc00482j

ANDRAOS, J.; DICKS, A. P. Green Chemistry Teaching in Higher Education: A Review of Effective Practices. **Chem. Educ. Res. Pract.**, 2012, 13 (2), 69–79.

ANTONIN, V.C.; MORASHASHI, A.C.; MALPASS, G.R.P. Compreensão de Alunos de Graduação sobre conceitos de Química Verde. In: International Workshop Advances in Cleaner Production “Cleaner Production Initiatives and Challenges for a Sustainable World”, 3, 2011, São Paulo. Anais... São Paulo: UNIP, 2011. P. 1-9.

AULER, D.; BAZZO, W. A. Reflexões para a Implementação do Movimento CTS no Contexto Educacional Brasileiro. **Ciência & Educação**, 2001, Bauru, v.7, n.1, p.1-13.

BOFF, L. **Sostenibilidad: ¿adjetivo o sustantivo?** 2011. Disponível em: <<https://leonardoboff.org/2011/06/15/sostenibilidad-adjetivo-o-sustantivo/>>. Acesso em 21 de julho de 2022.

BAIRD, C. **Environmental Chemistry**. New York: W. H. Freeman and Company, 1998, 557 p.

BAIRD, C., CANN, M. **Química ambiental**. 4ª ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2011, 844 p.

BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é, o que não é**. Petrópolis: Vozes, 2012.

BRASIL. **Lei 6938 de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente. Brasília, 1981.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec); **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**, Brasília: MEC/Semtec, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec); **PCN + Ensino médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**, Brasília: MEC/Semtec, 2002.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação;. Parecer CNE/CP9/2001 - **Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena**. Brasília: MEC, 2002.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Parecer CNE/CP 2, de 09 junho de 2015. **Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial e Continuada dos Profissionais do Magistério da Educação Básica**. Brasília: MEC, 2015.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Parecer CNE/CP 22, de 07 nov. 2019. **Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial de Professores para a Educação Básica e Base**

Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica. Brasília: MEC, 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Programa Nacional de Educação Ambiental. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 2005.

BRAUN, B.; CHARNEY, R.; CLARENS, A.; FARRUGIA, J.; KITCHENS, C.; LISOWSKI, C.; NAISTAT, D. & O'NEIL, A. "Completing our education: green chemistry in the curriculum". **J. Chem. Educ.**, 83 (8): 1126, 2006.

BRYNJOLFSSON, E.; ROCK, D.; SYVERSON, C. Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics. **Working Paper**, nº 24001. Chicago: National Bureau of Economic Research, nov. 2017.

CANN, M. C.; DICKNEIDER, T. A. Infusing the Chemistry curriculum with green chemistry using real-world examples, web modules, and atom economy in organic chemistry courses. **J. Chem. Edu.** 2004, 81, 7, 977.

CARSON, R. L. **Primavera Silenciosa**. São Paulo: Melhoramentos, 1962.

CGEE. **Química Verde no Brasil: 2010-2030**. Brasília – DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

CHAMIZO, J. A. La imagen pública de la química. **Educación Química**, p. 12, 2011.

CLARK, J. H. Green chemistry: challenges and opportunities. **Green Chem.**, v. 1, n. 1, p.1–8, 1 jan. 1999.

CLARK, J.; MACQUARRIE, D. **Handbook of Green Chemistry and Technology**. 1ª ed, Blackwell, 2002, 540 p.

CLARK, R. A.; STOCK, A. E.; ZOVINKA, E. P. Metalloporphyrins as Oxidation Catalysts: Moving Toward "Greener" Chemistry in the Inorganic Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, 89(2), 271–275, 2012, doi: <https://doi.org/10.1021/ed100609f>

CLARK, J. H. et al. Circular economy design considerations for research and process development in the chemical sciences. **Green Chem.**, v. 18, n. 14, p. 3914–3934, 2016.

CONSTABLE, D. J.C.; CURZONS, A. D.; CUNNINGHAM, V. L. Metrics to 'green' chemistry—which are the best?, **Green Chem.**, 4, 521–527, 2002.

CORRÊA, A. G.; ZUIN, G. V. **Química Verde: fundamentos e aplicações**. 1. ed. São Carlos: EdUFSCar. 2012. 172 p.

CORRÊA, A. G.; ZUIN, V. G.; FERREIRA, V.; VAZQUEZ, P. G. Green chemistry in Brazil. **Pure and Applied Chemistry** (online), v. 85, p. 1643-1653, 2013.

COSTA, D. A. Métricas de avaliação da Química Verde - aplicação no ensino secundário. 2011. 332 f. Tese (Doutorado em Ensino e Divulgação das Ciências) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2011.

COSTA, M. C. S. Abordagem dos princípios da Química Verde por meio do lúdico na formação ambiental de profissionais da química. 2018. 130 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

CROSS, D.; THOMSON, S.; SINCLAIR, A. Research in Brazil - A report for CAPES by Clarivate Analytics. 2018, 73 p. Disponível em: <https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/17012018-capes-incitesreport-final-pdf/view> , acesso em agosto de 2022.

CUNHA, S.; SANTANA, L. L. B. de. Condensação de Knoevenagel de aldeídos aromáticos com o ácido de Meldrum em água: uma aula experimental de Química Orgânica Verde. **Quím. Nova**, 2012, 35, 3, 642-647.

DEBREF, R. The Paradoxes of Environmental Innovations: The Case of Green Chemistry. **Journal of Innovation Economics Management**, v. 9, n. 1, p. 83–102, 16 abr. 2012.

DE LA FRANIER, B. J.; DIEP, J.; MENZIES, P. J. C.; MORRA, B.; KOROLUK, K. J.; DICKS, A. P.A. P. A First-Year Chemistry Undergraduate “Course Community” at a Large, Research-Intensive University. **J. Chem. Edu**, 2016, 93(2), 256–261. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00280>

DELIDOVICH, I.; PALKOVITS, R. Catalytic versus stoichiometric reagents as a key concept for Green Chemistry. **Green Chem.**, v. 18, n. 3, p. 590–593, 2016.

DIAS, E. D. S. **A cortina de fumaça no discurso verde da Química: Um olhar sobre produções científicas na 37ª RASBQ.** Dissertação. (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

DICKS, A. P.; D'EON, J. C.; MORRA, B.; KUTAS CHISU, C.; QUINLAN, K. B.; CANNON, A. S.. A Systems Thinking Department: Fostering a Culture of Green Chemistry Practice among Students. **J. Chem. Edu**, 2019, 96(12), 2836–2844. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00287>

DINIZ-PEREIRA, J. Formação de professores, trabalho e saberes docentes. **Trabalho & Educação**, Belo Horizonte, v. 24, n. 3, p. 143-152, set./dez. 2015.

DUARTE, R. C. C. **Síntese verde no ensino da Química.** Tese (Doutorado em Ensino e Divulgação das Ciências) - Unidade de Ensino das Ciências, Universidade do Porto, 2016.

EILKS, I.; RAUCH, F. Sustainable development and Green Chemistry in Chemistry education. **Chem. Educ. Res. Pract.**, 2012, 13, 57–58.

FARIAS, C. R. O. **A Produção da Política Curricular Nacional para a Educação Superior Diante do Acontecimento Ambiental: Problematizações e desafios**. Tese de Doutorado. - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008. Recuperado de <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp096311.pdf>

FARIAS, L.A.; FAVARO, D.I.T. Vinte anos de química verde: conquistas e desafios. *Química Nova*, v.34, n.6, p.1089-1093, 2011. DOI:10.1590/S0100-40422011000600030

FATIBELLO FILHO, O.; MARCOLINO Jr, L. H. Metodologias Analíticas Limpas, I Semana da Química, São Carlos: UFSCar, 2005.

FERREIRA, L. DA C.; MARTINS, L. DA C. F.; MEROTTO, S. C.; RAGGI, D. G.; SILVA, J. G. F. DA. Educação ambiental e sustentabilidade na prática escolar. **RevBEA**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 201- 214, 2019.

FREITAS, N. M. da S.; MARQUES, C. A. Abordagens sobre sustentabilidade no ensino CTS: educando para a consideração do amanhã. **Educar em Revista**, Curitiba, Brasil, jul./set. 2017, 33, 65, 219-235.

FREITAS, H. Formação de professores no Brasil: 10 anos de embate entre projetos de formação. **Educação & Sociedade**, Campinas, v. 23, n. 80, p. 136-167, set. 2002.

GARCIA, I. T. S.; KRUGER, V. Implantação das Diretrizes Curriculares Nacionais para Formação de Professores de Química em uma Instituição Federal de Ensino Superior: Desafios e Perspectivas. **Quím. Nova**, 2009, 32, 8, 2218-2224.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOES, L.F. *et al.* Aspectos do conhecimento pedagógico do conteúdo de Química Verde em professores universitários de Química. **Educ. quím.**, 2013, 21, 1, 113-123.

GONZÁLEZ, X. V.; BENAVIDES, C. B.; MARÍN, G. P.; LEÓN, R. S.; TORRES, L. D, S.; CORRALES, J. A. R. Química experimental: un enfoque hacia la química verde. Madrid, España: **Editorial Pearson Educación SA**. 2015.

GOODWIN, T. E. An Asymptotic Approach to the Development of a Green Organic Chemistry Laboratory. **J. Chem. Edu**, 2004, 81(8), 1187–1190. doi: <https://doi.org/10.1021/ed081p1187>

GOMES, L. S. *et al.* Panorama da inclusão dos conceitos de Química Verde nas licenciaturas em Química dos Institutos Federais. **Revista Ambiente & Educação**, 27, 1, 2022.

GOMES, C.J.C.; ZUIN ZEIDLER, V.G. Formação de Professores de Química Verde e Sustentável: Experiências de uma Universidade Brasileira. **Sustain. Chem.** 4, 272–281, 2023.

GROSS, E. M. (2013). Green Chemistry and Sustainability: An Undergraduate Course for Science and Nonscience Majors. **J. Chem. Edu.** 2013, 90(4), 429–431. doi: <https://doi.org/10.1021/ed200756z>

HAMILTON, A. E.; BUXTON, A. M.; PEEPLES, C. J.; CHALKER, J. M. An Operationally Simple Aqueous Suzuki–Miyaura Cross-Coupling Reaction for an Undergraduate Organic Chemistry Laboratory. **J. Chem. Edu.** 2013, 90(11), 1509–1513. doi: <https://doi.org/10.1021/ed4002333>

HJERESSEN, D. L.; SCHUTT, D. L. & BOESE, J. M. “Green Chemistry and Education”. **J. Chem. Educ.**, 77: 1543, 2000.

HOWARD-GRENVILLE, J. *et al.* “If Chemists Don’t Do It, Who Is Going To?” Peer-driven Occupational Change and the Emergence of Green Chemistry. **Administrative Science Quarterly**, v. 62, n. 3, p. 524–560, set. 2017.

HUDLICKY, T.; FREY, D. A.; KORONIAK, L.; CLAEBOE, C. D.; BRAMMER, L. E. Toward a ‘reagent-free’ synthesis. **Green Chem.**, 1, 57–59, 1999.

HUESEMANN, M.H.: The limits of technological solutions to sustainable development. **Clean Techn. Environ. Policy** 5, 8–20 (2003).

HUTCHISON, J. E. Systems Thinking and Green Chemistry: Powerful Levers for Curricular Change and Adoption. **J. Chem. Edu.** 2019, 96(12), 2777–2783. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00334>

INOVATIVA. EBQV promove trabalhos sobre Química Sustentável - entrevista com Peter Seidl. Revista do Instituto Nacional de Tecnologia, Ano 3, nº 17 - novembro-dezembro de 2016, p. 8.

JACOBI, P.R. Educar na sociedade de risco: o desafio de construir alternativas. **Pesquisa em Educação Ambiental**, 2 (2): 49-65, 2007.

JOSEPHSON, P.; NYKVIST, V.; QASIM, W.; BLOMKVIST, B.; DINÉR, P. Student-Driven Development of Greener Chemistry in Undergraduate Teaching: Synthesis of Lidocaine Revisited. **J. Chem. Edu.** 2019, 96(7), 1389–1394. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b>

JIMÉNEZ-GONZÁLEZ, C.; CONSTABLE, D. J. C. **Green Chemistry and Engineering: A Practical Design Approach**. John Wiley & Sons Inc; 1º ed, 2011.

KARPUDEWAN, M.; ISMAIL, Z.; ROTH, W. Ensuring Sustainability of tomorrow through green chemistry integrated with sustainable development concepts (SDCs). **Chemistry Education Research and Practice**, 2012, 13, 120-127.

KENNEDY, S. A. Design of a Dynamic Undergraduate Green Chemistry Course. **J. Chem. Edu.**, 2016, 93(4), 645–649.

KITCHENS, C.; CHARNEY, R.; NAISTAT, D.; FARRUGIA, J.; CLARENS, A.; O'NEIL, A.; LISOWSKI, C.; BRAUN, B. Completing Our Education. Green Chemistry in the Curriculum. **J. Chem. Educ.** 2006, 83, 8, 1126.

LANCASTER, M. **Green Chemistry: An Introductory Text**. Royal Society of Chemistry, 1º ed., 2002.

LEFF, E. **Saber ambiental - sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder**. Petrópolis (RJ): Vozes, 2001.

LEFF, E. **Epistemologia ambiental**. São Paulo: Cortez, 2002.

LEFF, E. (org) **A complexidade ambiental**. São Paulo: Cortez, 2003.

LEFF, E. **Discursos Sustentáveis**. São Paulo: Cortez, 2010.

LEFF, E. **Aventuras da Epistemologia Ambiental: da articulação das ciências ao diálogo de saberes**. São Paulo: Cortez, 2012.

LÉNA, P. Os limites do crescimento econômico e a busca pela sustentabilidade: uma introdução ao debate. In: LÉNA, P.; NASCIMENTO, E. P. do (Orgs). **Enfrentando os limites do crescimento: sustentabilidade, decrescimento e prosperidade**. Rio de Janeiro: Garamond, 2012, p. 23-44.

LENARDÃO, E. J.; FREITAS, R. A.; DABDOUB, M. J.; BATISTA, A. C. F.; SILVEIRA, C. C. Green Chemistry- Os 12 Princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Quím. Nova**, 2003, v. 26, n. 1, p. 123-129.

LOUGHRAN, J.; MULHALL, P.; BERRY, A. In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice. **Journal of Research in Science Teaching**, 41(4), pp. 370–391, 2004.

LÜDKE, M; ANDRÉ, M, E. D. A. de. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo, EPU, 1986.

MACHADO, A. A. S. C. Química e Desenvolvimento Sustentável - QV, QUIVES, QUISUS. Química - **Boletim SPQ**, 95: 59, 2004.

MACHADO, Adélio A. S. C. Métricas da Química Verde – A produtividade Atômica. Química, out/dez. 2007.

MACHADO, A. A. S. C. Da Gênese do Termo Química Verde às Colorações Discrepantes da Química e da Biotecnologia. **Boletim da Sociedade Química Portuguesa**, n. 108, p. 43-46, 2008a.

MACHADO, A. A. S. C. Das dificuldades da Química Verde aos Segundos Doze Princípios. **Boletim SPQ**, 2008b, 110, 33-40.

MACHADO, A. A. S. C. Da pobreza Química à Sustentabilidade e à Química Verde. **BSPQ**, 2009, série II, 114, 27-33. DOI: 10.52590/M3.P644.A30001509

MACHADO, A. A. S. C. Da gênese ao ensino da Química Verde. **Quím. Nova**, 2011, 34, 3, 535-543.

MACHADO, A. A. S. C. A síntese verde - conceito e gênese. **BSPQ**, 2011, série II, 120, 43-48. DOI: 10.52590/M3.P650.A30001621

MACHADO, A. A. S. C. Dos primeiros aos segundos doze princípios da Química Verde. **Quím. Nova**, 2012, 35, 6, 1250-1259.

MACHADO, Adélio A. S. C. A. **Introdução às Métricas da Química Verde: uma visão sistêmica**. Florianópolis: Editora UFSC, 2014.

MANAHAN, S. E. **Environmental Chemistry**. 6 ed. Boca Raton, Florida -USA: CRC Press, Inc., 1994, 811 p.

MARCELINO, L. V. **Os tipos de racionalidade na química verde e suas relações com o ensino**. 2020. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

MARQUES, C.A. *et al.* Visões de Meio ambiente e suas implicações pedagógicas no ensino de Química na escola média. **Quím. Nova**. Vol. 30, n.8, p. 2043-2052, 2007.

MARQUES, C. A. Estilos de pensamento de professores italianos sobre a Química Verde na educação química escolar. **REEC**, 2012, 11, 316.

MARQUES, C. A. *et al.* Sustentabilidade Ambiental: Um estudo com pesquisadores químicos no Brasil. **Quím. Nova**, 2013, 36, 6, 914-920.

MARQUES, C. A. *et al.* A abordagem de questões ambientais: contribuições de formadores de professores de componentes curriculares da área de ensino de química. **Quím. Nova**, 2013, 36, 4, 600-606.

MARQUES, C. A. *et al.* Compreensões de Pesquisadores Químicos sobre Sustentabilidade

Ambiental: possíveis influências na formação de professores de Química. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, v. 9, n. 2, p. 79–91, 2014.

MARQUES, C. A. *et al.* Green Chemistry teaching for sustainability in papers published by the Journal of Chemical Education. **Quím. Nova**, 43, 10, 1510-1521, 2020.

MARQUES, C. A.; MACHADO, A. A. S. C. Environmental Sustainability: implications and limitations to Green Chemistry. **Found Chem**, v. 16, n. 2, p. 125–147, 1 jul. 2014.

MARQUES, C. A., MACHADO, A.A S.C. Una visión sobre propuestas de la enseñanza de la Química Verde. **REEC**, 2018, 17, 1, 19-43.

MARQUES, C. A.; MACHADO, A. A. S. C. An integrated vision of the Green Chemistry evolution along 25 years. **Found Chem**, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10698-021-09396-6>.

MARQUES, M. V.; BISOL, T. B.; SÁ, M. M. Reações multicomponentes de Biginelli e de Mannich nas aulas de química orgânica experimental. Uma abordagem didática de conceitos da química verde. **Quím. Nova** 2012, 35, 1696.

MARTEEL-PARRISH, A. E. Toward the Greening of Our Minds: A New Special Topics Course. **J. Chem. Edu**, 2007, 84(2), 245–247. doi: <https://doi.org/10.1021/ed084p245>

MARX, K. **O capital**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1974.

MATLIN, S. A.; MEHTA, G.; HOPF, H.; KRIEF, A. One-world chemistry and systems thinking. **Nature Chemistry**, 2016, 8, 393-398.

MAXIMIANO, F. A.; CORIO, P.; PORTO, P. A.; FERNANDEZ, C. Química Ambiental e Química Verde no conjunto do conhecimento químico: concepções de alunos de graduação em Química da Universidade de São Paulo. **Educación Química** 2009, 20, 398.

MENDES SANDRI, M. C.; SANTIN FILHO, O. Os modelos de abordagem da Química Verde no ensino de Química. **Educación Química**. 2019, 30, 4, 00-00.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. D. C. **Análise Textual Discursiva**. 2ª. ed. Ijuí: Unijuí, 2011.

NOBRE, M. A **Teoria Crítica**. Rio de Janeiro: Zahar, 2004.

NÓVOA, A. Firmar a posição como professor, afirmar a profissão docente. **Cadernos de Pesquisa**; v. 47, n. 166, p. 1106-1133, out./dez. 2017.

OLIVEIRA, K.T.; BROCKSOM, T.J.; PAIXÃO, M.W.; CORRÊA, A.G. **Química Orgânica Experimental: uma abordagem de química verde**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2017.

OMORI, A. T.; PORTAS V. B.; OLIVEIRA, C. S. Redução enzimática do 4-(dimetilamino)benzaldeído com pedaços de cenoura (*Daucus carota*): um experimento simples na compreensão da biocatálise. **Quím. Nova**, 2012, 35, 435.

PARGA LOZANO, D. L. Conhecimento didático do conteúdo sobre a química verde: o caso dos professores universitários de química. **Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología - Tecné, Episteme y Didaxis**, (38), 167-182, 2015.

PEROSA, A.; GONELLA, F.; SPAGNOLO, S. Systems Thinking: Adopting an Emergy Perspective as a Tool for Teaching Green Chemistry. **J. Chem. Edu.** 2019, 96, 12, 2784-2793.

PEREIRA, J. C.; CAMPOS, M. L. A. M.; NUNES, S. M. T.; ABREU, D.G. Um panorama sobre a abordagem ambiental no currículo de cursos de formação inicial de professores de química na região sudeste. **Quím. Nova**, 2009, 32, 2, 511-517.

PINHEIRO, A.N.; MEDEIROS, E.L; OLIVEIRA, A.C. "Estudo de casos na formação de professores de química." **Quím. Nova**, 33 (9), 2010.

PINHEIRO, M.N.; BATISTA, E.C. O aluno no centro da aprendizagem: uma discussão a partir de Carl Rogers. **Revista Psicologia & Saberes**, 7(8), 70–85, 2018.  
<https://revistas.cesmac.edu.br/psicologia/article/view/770>

PINTO, J. R. M.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. O desafio na escolha dos solventes em síntese – o workup como exemplo. **Quím. Nova**, 42, 8, 971-982, 2019.  
<http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170400>

PINTO, A.C.; ZUCCO, C.; DE ANDRADE, J. B.; Vieira, P. C. Recursos humanos para novos cenários. **Quím. Nova**, 32: 567, 2009.

PINTO, V. P. S.; ZACARIAS, R. Crise ambiental: adaptar ou transformar? As diferentes concepções de educação ambiental diante deste dilema. **Educ. foco**, v. 14, n. 2, p. 39-54, 2010.

PIRES, T. C. M.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Extração do R-(+)-limoneno a partir das cascas de laranja: avaliação e otimização da verduca dos processos de extração tradicionais. **Quím. Nova**, v.41, n. 3, p.355-365, 2017.

PIRES, T. C. M. **Estrela Verde: uma métrica holística para avaliação da verduca química de atividades laboratoriais**. Fev. 2013. Apresentação Power Point. Disponível em:<  
<http://educa.fc.up.pt/pedagogiadaquimicaverde/>> Acesso em 26 de janeiro de 2024.

PITANGA, A.F. **A inserção das Questões Ambientais no Curso de licenciatura em Química da Universidade Federal de Sergipe**. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2015.

PITANGA, A. F., Crise da Modernidade, Educação Ambiental, Educação para o Desenvolvimento Sustentável e Educação em Química Verde: (Re)Pensando paradigmas. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, 2016, 18 (set-dez).

PLOTKA-WASYLKA, J.; KUROWSKA-SUSDORF, A.; SAIJID, M.; DE LA GUARDIA, M.; NAMIÉSNIK, J.; TOBISZEWSKI, M. Green Chemistry in Higher Education: State of the Art, Challenges, and Future Trends. **Chem Sus Chem**, 2018, 11(17), 2845–2858.

POLIAKOFF, M. *et al.* Green Chemistry: Science and Politics of Change. **Science**, v. 297, p. 807–810, ago. 2002.

REIGOTA, M. **O estado da arte da pesquisa em educação ambiental no Brasil**. Pesquisa em Educação Ambiental, 2(1), 2007. Recuperado de [www.revistas.usp.br/pea/article/view/30017](http://www.revistas.usp.br/pea/article/view/30017)

RIBEIRO, M. G. T. C.; COSTA, D. A.; MACHADO, A. A. S. C. Uma métrica gráfica para avaliação de reações laboratoriais – Estrela Verde. **Quím. Nova**, v. 33, n. 3, São Paulo, 2010.

RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Novas métricas holísticas para avaliação da veracidade de reações de síntese em laboratório. **Quím. Nova**, v. 35, n. 9, p. 1879-1883, 2012.

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**. Tese (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.

SANDRI, M. C. M. **Contribuições do enfoque CTSA e da QV na formação de licenciandos em Química**. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

SANDRI, M. C. M.; SANTIN FILHO, O. Os modelos de abordagem da Química Verde no ensino de Química. **Educación Química**, v. 30, n°4, 00-00, 2019.

DOI:10.22201/fq.18708404e.2019.4.68335

SANTOS, K. M. S.; LIMA, L. M. A.; SANTOS, T. S.; PITANGA, A. F. Avaliando Métricas em Química Verde de Experimentos Adaptados para a Degradação do Corante Amarelo de Tartrazina para Aulas no Ensino Médio. **QNesc**, v. 43, n. 4, p. 411-417, 2021.

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

SCHNETZLER, R.P. O professor de Ciências: problemas e tendências de sua formação. In: SCHNETZLER, R.P. & ARAGÃO, R.M.R. de (orgs). **Ensino de Ciências: fundamentos e abordagens**. Piracicaba: CAPES/PROIN/UNIMEP, 2000. 12-41.

SEIDL, P. R. Química Verde: Novos desafios. Caderno de Química Verde, **RQI**, 7, 22, 30-3, 1º semestre de 2022. Disponível em: <https://boletim.s bq.org.br/anexos/Cad22RQI-772-pagina38.1-Caderno-de-Quimica-Verde.pdf>. Acesso em: maio de 2024.

SHELDON, R. A. Organic synthesis; past, present and future. **Chem. Ind.**(London), 903-906, 1992.

SHELDON, R. A. The E factor 25 years on: the rise of green chemistry and sustainability. **Green Chem.**, v. 19, n. 1, p. 18-43, 2017.

SHULMAN, L. S. Those who understand: Knowledge growth in teaching. **Educational Researcher**, v. 15, n.2, p. 4-14, 1986.

SHULMAN, L. S., Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. **Harvard Educational Review**, v. 57, n. 1, p. 1-22, 1987.

SILVA, T. do N.; FARIAS, C. R. de O. Análise da inserção das questões ambientais em dois cursos de licenciatura em Química de uma universidade pública. **IENCI**, v.22 (3) – Dez. 2017 pp. 80 - 101.

SJÖSTRÖM, J. Towards Bildung-Oriented Chemistry Education. **Science & Education-Netherlands**, v. 22, n. 7, p. 1873-1890, 2013.

SJÖSTRÖM, J.; TALANQUER, V. Humanizing Chemistry Education: From Simple Contextualization to Multifaceted Problematization. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 8, p.1125-1131, 12 ago. 2014.

SJÖSTRÖM, J.; EILKS, I.; ZUIN, V. G.; Towards Eco-reflexive Science Education. **Sci. Educ.** 25, 321, 2016.

SOUSA, A. C. de; SILVA, C. E. da; COSTA, T. T. da. A abordagem dos princípios da Química Verde e sustentabilidade no livro didático de química do ensino médio. **REEC**, 2020, vol. 19, 3, 593-616.

SOUZA, L. C. A. B. **A Problematização do Princípio da Precaução na Formação do Técnico Agrícola: reflexões para o enfrentamento da racionalidade instrumental a partir de uma questão sociocientífica**. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

STUART, D.; GUNDERSON, R.; PETERSEN, B. **A Path to Address our Environmental Crisis?** Routledge, New York, 2021. ISBN: 978-1-003-01930-5.

TALANQUER, V. School Chemistry: The Need for Transgression. **Science & Education-Netherlands**, v. 22, n. 7, p. 1757–1773, jul. 2013.

THORNTON, J. Beyond Risk: An Ecological Paradigm to Prevent Global Chemical Pollution. **Risk Assessment and Global Pollution**, v. 6, n. 3, p.318-330, out.-dez, 2000.

TUNDO, P.; *et al.* Synthetic pathways and processes in green chemistry. Introductory overview. **Pure Appl. Chem.**, 72 (7); 1207, 2000.

TUNDO, P.; PEROSA, A.; ZECCHINI, F. **Methods and reagents for green chemistry an introduction**, John Wiley & Sns: Hoboken, 2007.

UFSCar. Universidade Federal de São Carlos, 2006. Disponível em:  
<<https://www.evqdq.ufscar.br/historico/historico-das-escolas-de-verao-de-quimica>> Acesso em: maio de 2024.

UNEP, United Nations Environment Programme (2023). Specialized Manual on Green and Sustainable Chemistry Education and Learning: Advancing Green and Sustainable Chemistry Education and Learning in All Segments of Society. Geneva. Production: Layout and Graphic Design by Lowil Espada. ISBN: 978-92-807-4114-8.

UNITED NATIONS. **Globally harmonized system of classification and labelling of chemicals (GHS)**. New York e Geneva, 2019.

VAZ, C. R. S.; GIROTTO JUNIOR, G.; PASTRE, J. C. A adoção da Química Verde no ensino superior brasileiro. **Quím. Nova**, 47, 3, e-20230117, 1-10, 2024  
<http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20230117>.

WCED. **Our Common Future**. 1 edition ed. Oxford ; New York: Oxford University Press, 1987.

WINTERTON, N.; Twelve more green chemistry principles. **Green Chem.** 2001, 3, G73.

WINTERTON, N. Sense and sustainability: the role of chemistry, green or otherwise. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 5, n. 1, p. 8–20, 1 mar. 2003.

ZACARIAS, R. O processo de acumulação capitalista, crise estrutural do capital e a destruição ambiental: uma visão crítica. In: **I Circuito de Debates Acadêmicos**, 2012, Brasília. Anais do Circuito Debates Acadêmicos programa e resumos, 2012, n. 1.

ZANDONAI, D. P.; SAQUETO, K. C.; ABREU, S. C. S. R.; LOPES, A. P.; ZUIN, V. G. Química Verde e Formação de Profissionais do Campo da Química: Relato de uma Experiência Didática para Além do Laboratório de Ensino. **Rev. Virtual Quim.**, 2014, 6 (1), 73-84.

ZOLLER, U. Education in Environmental Chemistry: Setting the Agenda and Recommending Action **J. Chem. Educ.** 2005, 82, 8, 1237. <https://doi.org/10.1021/ed082p1237>

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

ZUIN, V. G. A inserção Química Verde nos programas de pós-graduação em Química do Brasil: tendências e perspectivas. **RBPG**, 2013, 10, 21, 557-573.

ZUIN, V. G.; MARQUES, C. A. Green Chemistry in Brazil: Contemporary Tendencies and Challenges and its Reflections on High School Level. In: V. ZUIN; L. MAMMINO. (Org.). **Worldwide Trends in Green Chemistry Education**: Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2015, v.1 , p. 103-123.

ZUIN, V. G.; MARQUES, C. A. Sustainable Development, Green Chemistry and Environmental Education in Brazil. In: EILKS, S. MARKIC, E.S.; B. RALLE, SHARKER, B. R. (Orgs.). **Science education research and education for sustainable development (EDS)**: Aachen, 2014, v.1, p. 147-156.

ZUIN, V. G.; MARQUES, C. A.; ROLOFF, F. B.; VIEIRA, M. S. Desenvolvimento Sustentável, Química Verde e Educação Ambiental: o que revelam as publicações da SBQ. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, v. 10, p. 79-90, 2015.

ZUIN, V. G.; EILKS, I. ; ELSCHAMI, M. ; KUMMERER, K. Education in Green Chemistry and in Sustainable Chemistry: perspectives towards sustainability. **Green Chem.**, v. 23, p. 1, 2021.

LOWER, A. Yale Professor Paul Anastas receives prestigious August Wilhelm von Hofmann Medal as co-founder of green chemistry. Yale School of Public Health, 2022. Disponível em: [<https://ysph.yale.edu/news-article/yale-professor-paul-anastas-receives-prestigious-august->

wilhelm-von-hofmann-medal-as-co-founder-of-green-chemistry/#:~:text=Yale%20Professor%20Paul%20Anastas%2C%20widely,the%20Nobel%20Prize%20in%20chemistry]. Acesso 12 de março de 2024.

**ANEXO A - LISTA DAS UNIVERSIDADES FEDERAIS PESQUISADAS E ONDE/COMO FORAM ENCONTRADAS AS INFORMAÇÕES SOBRE AS DISCIPLINAS**

(continua)

NOME DA INSTITUIÇÃO	SIGLA	NOME DA DISCIPLINA ENCONTRADA	FONTES DE INFORMAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS	UFGD	Química Medicinal	Site da instituição e e-mail respondido
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DE PORTO ALEGRE	UFCSPA	Síntese de Substâncias Bioativas/Princípios e aplicações da QV	Site da instituição e e-mail respondido
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA	UNIR	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPP, e-mail não respondido
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC	UFABC	- NH3104 Práticas de Química Verde - NH3906 Introdução à Química Verde e Química Sustentável	Site da Instituição
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA	UNIPAMPA	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPP, e-mail não respondido
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS	UFT	NÃO CONSTA	Site da instituição, e-mail não respondido
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO	UNIVASF	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPP, e-mail não respondido
UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA	UNILAB	QUÍMICA, MEIO AMBIENTE E EDUCAÇÃO	Site da instituição
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA	UNB	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPP, e-mail não respondido
UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA	UFBA	Tópicos em Química: Química orgânica verde.	Site da instituição, PPP, e-mails não respondidos da secretaria e do professor da disciplina. Finalmente consegui a ementa com um terceiro, pois o professor não quis fornecer.
UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL	UFFS	Química Ambiental	Site da instituição

**ANEXO A - LISTA DAS UNIVERSIDADES FEDERAIS PESQUISADAS E ONDE/COMO FORAM ENCONTRADAS AS INFORMAÇÕES SOBRE AS DISCIPLINAS**

(continuação)

UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA	UNILA	- Química Verde - Química Ambiental e Sociedade	Site da instituição
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA	UFPB	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPP, e-mail não respondido
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS	UFAL	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPP
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS	UNIFAL	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPP
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE	UFCG	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPP
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CATALÃO	UFCAT	Química Verde	Site da instituição, PPP, e-mail não respondido
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS	UFG	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPP
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ	UNIFEI	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPP, e-mail respondido
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JATAÍ	UFJ	- Laboratório de técnicas de preparação; - Tópicos em química energética	Site da instituição, PPC, e-mail solicitando plano de ensino não respondido
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA	UFJF	Química do meio ambiente	Site da instituição, PPP
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS	UFLA	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPP
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO	UFMT	- Química ambiental; - Química Verde	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL	UFMS	- Química inorgânica III; - Química orgânica II	Site da instituição
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS	UFMG	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO	UFOP	Tecnologias verdes para indústrias químicas	Site da instituição, PPC, e-mail solicitando plano de ensino respondido
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS	UFPEL	Química Verde	Site da instituição

**ANEXO A - LISTA DAS UNIVERSIDADES FEDERAIS PESQUISADAS E ONDE/COMO FORAM ENCONTRADAS AS INFORMAÇÕES SOBRE AS DISCIPLINAS**

(continuação)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO	UFPE	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDONÓPOLIS	UFR	Não tem curso de química	
UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA	UFRR	NÃO CONSTA	Site da instituição não contém nenhuma informação sobre o curso de química, nem contato
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA	UFSC	- Introdução à síntese orgânica; - Introdução à Química Verde	Site da instituição e contato com professor da disciplina
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA	UFSM	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS	UFSCAR	Introdução à Química Verde	Pelo site da instituição encontra-se a informação de que existe a disciplina mas não há acesso à ementa ou plano de ensino. Houve tentativas de contato com a secretaria, com a professora da disciplina, porém só foi obtido o plano de ensino com um terceiro, pois a professora da disciplina se recusou a fornecer.
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI	UFSJ	Química ambiental	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO	UNIFESP	Química Verde: epistemologia dos sentidos e racionalidades	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE	UFS	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA	UFU	- Química ambiental (licenciatura); - Química ambiental (química industrial)	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA	UFV	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC

**ANEXO A - LISTA DAS UNIVERSIDADES FEDERAIS PESQUISADAS E ONDE/COMO FORAM ENCONTRADAS AS INFORMAÇÕES SOBRE AS DISCIPLINAS**

(continuação)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE	UFAC	- Química ambiental; - Ciência, tecnologia e sociedade	Há informação no site sobre as disciplinas, mas os planos foram conseguidos com terceiros
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AGRESTE DE PERNAMBUCO	UFAPE	Não tem curso de Química	—
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ	UNIFAP	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS	UFAM	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI	UFCA	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ	UFC	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO DELTA DO PARNAÍBA	UFDPAR	Não tem curso de Química	—
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO	UFES	Química Ambiental	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	UNIRIO	Não tem curso de Química	—
UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO	UFMA	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA	UFOB	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ	UFOPA	NÃO CONSTA	Site da instituição
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ	UFPA	Discutir as questões ambientais associadas a química, desenvolvendo o conceito de química verde e avaliando os problemas ambientais de forma interdisciplinar, nas disciplinas: Elementos de Geologia e Mineralogia Química Ambiental	Nos anexos do PPC tem a informação ao lado, foi enviado e-mail para a instituição solicitando os planos das disciplinas citadas, mas não houve resposta. No site não está disponível.

**ANEXO A - LISTA DAS UNIVERSIDADES FEDERAIS PESQUISADAS E ONDE/COMO FORAM ENCONTRADAS AS INFORMAÇÕES SOBRE AS DISCIPLINAS**

(conclusão)

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ	UFPR	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ	UFPI	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA	UFRB	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO	UFRJ	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE	FURG	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE	UFRN	Química ambiental	Site da instituição, PPC, e-mail respondido
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	UFRGS	NÃO CONSTA	Site da instituição, e-mail não respondido
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL DA BAHIA	UFSB	Não tem curso de Química	—
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ	UNIFESSPA	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI	UFVJM	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO	UFTM	Química Verde	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE	UFF	Química Verde	Site da instituição, PPC, e-mail não respondido
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA	UFRA	Não tem curso de Química	—
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO	UFRPE	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO	UFRRJ	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO	UFERSA	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ	UTFPR - Campus Campo Mourão	Química ambiental básica	Site da instituição, PPC

**ANEXO B - LISTA DAS UNIVERSIDADES ESTADUAIS PESQUISADAS E ONDE/COMO FORAM ENCONTRADAS AS INFORMAÇÕES SOBRE AS DISCIPLINAS**

(continua)

<b>NOME DA INSTITUIÇÃO</b>	<b>SIGLA</b>	<b>NOME DA DISCIPLINA ENCONTRADA</b>	<b>FONTES DE INFORMAÇÃO</b>
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA	UDESC	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE VIRTUAL DO ESTADO DE SÃO PAULO	UNIVESP	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO	UPE	Não tem curso de Química	—
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO	USP	- Química Ambiental I (1 ativa e 1 desativada); - Química ambiental III (1 ativa e 1 desativada); - Química do Meio Ambiente; - Técnicas experimentais de Química Orgânica	Site da instituição, sistema Júpiter
UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA	UNEB	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO MATO GROSSO CARLOS ALBERTO REYES MALDONADO	UNEMAT	Curso em processo de extinção	—
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS	UEMG	Química ambiental	Site da instituição, PPC, e-mail respondido
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAPÁ	UEAP	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS	UEA	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ	UEPA	Química Verde	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	UERJ	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC, e-mail não respondido

**ANEXO B - LISTA DAS UNIVERSIDADES ESTADUAIS PESQUISADAS E ONDE/COMO FORAM ENCONTRADAS AS INFORMAÇÕES SOBRE AS DISCIPLINAS**

(continuação)

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE	UERN	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA	UEPB	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO	UEMASUL	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE ALAGOAS	UNEAL	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS	UNICAMP	- Aplicação de tecnologias em Química Orgânica Sintética; - Água e economia circular; - Introdução à Química Verde	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DE ALAGOAS	UNCISAL	Não tem curso de Química	—
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA	UEFS	Química e ambiente II	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS	UEG	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA	UEL	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ	UEM	Química ambiental	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MATO GROSSO DO SUL	UEMS	Química ambiental	Site da instituição, PPC

**ANEXO B - LISTA DAS UNIVERSIDADES ESTADUAIS PESQUISADAS E ONDE/COMO FORAM ENCONTRADAS AS INFORMAÇÕES SOBRE AS DISCIPLINAS**

(continuação)

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS	UNIMONTES	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA	UEPG	Química ambiental	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE RORAIMA	UERR	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ	UESC	Química verde	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ	UECE	NÃO CONSTA	Site da instituição
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO OESTE	UNICENTRO	Química ambiental	Site da instituição, PPC, e-mail não respondido
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO	UEMA	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC, e-mail respondido, sem informações sobre disciplinas
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ	UENP	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO	UENF	Química ambiental	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ	UNIOESTE	Química e educação ambiental	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PARANÁ	UNESPAR	Química ambiental	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ	UESPI	NÃO CONSTA	E-mail não respondido, no site não constam informações
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL	UERGS	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC

**ANEXO B - LISTA DAS UNIVERSIDADES ESTADUAIS PESQUISADAS E ONDE/COMO FORAM ENCONTRADAS AS INFORMAÇÕES SOBRE AS DISCIPLINAS**

(conclusão)

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA	UESB	NÃO CONSTA	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO TOCANTINS	UNITINS	Não tem curso de Química	—
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO	UNESP	Análise Instrumental, Educação Ambiental e Química Verde	Site da instituição, PPC
UNIVERSIDADE ESTADUAL VALE DO ACARAÚ	UVA	NÃO CONSTA	Site da instituição
UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI	URCA	NÃO CONSTA	Site da instituição
UNIVERSIDADE VIRTUAL DO ESTADO DO MARANHÃO	UNIVIMA	Não tem curso de Química	—