CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

ENSINO DE QUÍMICA VERDE NO ENSINO MÉDIO E TÉCNICO COM ENFOQUE NA EXPERIMENTAÇÃO E ABORDAGEM CTS

Juliana Barreto Brandão

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora em Ciência, Tecnologia e Educação.

Orientador: Alvaro Chrispino
Coorientadora: Viridiana Santana Ferreira-Leitão

Rio de Janeiro
Novembro de 2022

ENSINO DE QUÍMICA VERDE NO ENSINO MÉDIO E TÉCNICO COM ENFOQUE NA EXPERIMENTAÇÃO E ABORDAGEM CTS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutora em Ciência, Tecnologia e Educação.

Juliana Barreto Brandão

Banca Examinadora:

Presidente, Professor Dr. Alvaro Chrispino (CEFET/RJ) (orientador)

Professora Dra. Viridiana Santana Ferreira-Leitão (INT) (coorientadora)

Professor Dr. Carlos Alberto Marques (UFSC)

Professor Dr. Geraldo André Thurler Fontoura (UFF)

Professor Dr. Joaquim Fernando Mendes da Silva (UFRJ)

Professora Dr. Cristiano Barbosa Moura (CEFET/RJ)

Professora Dra. Taís Conceição dos Santos (CEFET/RJ)

Rio de Janeiro
Novembro de 2022

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

B817 Brandão, Juliana Barreto
Ensino de química verde no ensino médio e técnico com enfoque na experimentação e abordagem CTS / Juliana Barreto Brandão – 2022.
189f. : il. (algumas color.) + apêndices ; enc.

Tese (Doutorado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2022.
Bibliografia : f. 172-189.
Orientador : Alvaro Chrispino
Coorientadora: Viridiana Santana Ferreira-Leitão

1. Educação. 2. Ciência e Tecnologia. 3. Química – Experimentos. 4. Sustentabilidade. 5. Ciência, Tecnologia e Sociedade. I. Chrispino, Alvaro (Orient.). II. Ferreira-Leitão, Viridiana Santana. III. Título.

CDD 370.7

Elaborada pelo bibliotecário Leandro Mota de Menezes – CRB/7 nº 5281

RESUMO

ENSINO DE QUÍMICA VERDE NO ENSINO MÉDIO E TÉCNICO COM ENFOQUE NA EXPERIMENTAÇÃO E ABORDAGEM CTS

A Química Verde (QV) emergiu como uma resposta do setor industrial frente aos desafios de superar os impactos negativos causados ao meio ambiente. Dentro de um contexto de pressão social e perspectiva de interesses econômicos, tem se desenvolvido uma nova forma de pensar os processos produtivos, centrada na prevenção da poluição. As suas contribuições são fundamentais para o desenho de novos processos químicos, oportunizando utilizar de modo mais duradouro os recursos da natureza, bem como fabricar produtos mais seguros e com menor geração de resíduos, respeitando os limites impostos pelo meio ambiente. Diante disso, seus conceitos vêm sendo difundidos também nas áreas de ensino e pesquisa. Ao pensar na Educação Básica, identifica-se uma demanda no sentido de ampliar a compreensão de mundo dos alunos, para que possam atuar futuramente como agentes transformadores. E, nos dias de hoje, acredita-se que isso pressupõe um ensino de Química dentro do contexto da QV, em vista de estabelecer uma relação mais amigável com o meio ambiente e capacitar os estudantes para que tomem decisões que contribuam para solucionar questões socioambientais. Sendo assim, esta pesquisa teve por objetivo identificar e problematizar contribuições do ensino de QV na formação de alunos do ensino médio e técnico, centrado na experimentação e por meio da abordagem CTS. Para isso, foi realizado um curso de extensão – cujo público-alvo foram os estudantes de duas instituições públicas federais – para duas turmas diferentes: a primeira na modalidade presencial e a segunda em modo remoto, devido à Pandemia da COVID-19. O curso oportunizou estudar sobre os doze princípios da QV; economia circular; pegada ecológica; sustentabilidade; métricas verdes; uso de biomassa e avaliação do ciclo de vida, dentre outros. As aulas foram contextualizadas por meio de temas sociais, a partir dos quais emergiram conteúdos químicos, que foram articulados à conceitos de QV. As atividades experimentais foram problematizadas suscitando discussões e o compartilhamento de descobertas, além de estimular o questionamento dos alunos e incentivar a pesquisa sobre suas dúvidas. Os estudantes tiveram a oportunidade de ampliar a concepção sobre práticas sustentáveis, e expandiram seu entendimento acerca da responsabilidade enquanto cidadãos, na medida em que compreenderam que suas atuações como alunos, consumidores ou futuros profissionais impactam o meio ambiente. Além disso, foram capazes de aplicar o conhecimento científico de modo prático na área técnica ou em ações cotidianas, a partir da elaboração de projetos, que foram avaliados segundo os critérios da análise textual discursiva. As categorias resultantes indicaram que os discentes buscaram relacionar conhecimentos técnicos com aqueles construídos ao longo do curso, além de identificarem benefícios sociais consequentes da implementação desses projetos e apontarem aspectos fundamentais para analisar a viabilidade prática e econômica. Finalmente, destaca-se que a pesquisa possibilitou refletir e modificar aspectos da prática da pesquisadora-docente, que acredita na viabilidade e nas contribuições de ensinar conceitos de QV na disciplina regular de Química e espera que os resultados da pesquisa possam contribuir para a prática de demais docentes.

Palavras-chave: Química Verde; Experimentação Química; Ensino CTS; Sustentabilidade; Educação Básica.

ABSTRACT

Green Chemistry teaching approach in High School and Technical School focus on experimentation and STS approach

Green Chemistry (GC) has been emerged by the chemical industry as a was born as a response to the challenges of overcoming the negative environment impacts. A new way of thinking about productive processes has been developed within a context of social pressure and economic interests' perspective. It was centered on prevention of pollution. GC contributions are important to design new chemical processes, making it possible using the nature resources more long-lastingly as well as to manufacture safer products with less waste generation. Besides it is required respect the environmental limits. Therefore, its concepts have also been spread in the teaching and research areas. When we think about School Education, we realize a demand to broaden the students understanding about the world, so that they can act as transforming agents in the future. Nowadays, it is believed that this presupposes a teaching of Chemistry within the GC context to establish a good relationship with the environment. Besides it can empower students to make decisions to solve social and environmental issues. Thus, this research aimed to identify and problematize contributions of GC teaching in the High School and Technical School, based on experimentation and through the STS approach. Then, it was developed an extension course to students from two federal public institutions in two different classes: the first in the face-to-face modality and the second in a remote mode, due to the COVID-19 pandemic. The classes were about the twelve principles of GC; circular economy; ecological footprint; sustainability; green metrics; biomass use and life cycle assessment, among others. They were contextualized through social themes, from which chemical contents emerged and were articulated to the GC concepts. The experimental activities were problematized, raising discussions, and sharing of findings, in addition to stimulating the questioning of students and encouraging research on their doubts. The students had the opportunity to broaden their conception of sustainable practices, and expanded their understanding of responsibility as citizens, because they understood that their actions as students, consumers or future professionals impact the environment. In addition, they were able to apply scientific knowledge in a practical way in the technical area or in daily actions, through the elaboration of projects, which were evaluated according to the criteria of discursive textual analysis. The resulting categories indicated that the students articulate technical knowledge with those constructed throughout the course. Also, they identify social benefits resulting from the implementation of these projects and show essential aspects to analyze the practical and economic feasibility. Finally, it is noteworthy that the research made it possible to reflect and modify aspects of the teacher practice. The research author believes in the feasibility and contributions of GC concepts teaching in the regular Chemistry discipline and hopes that the results of the research can contribute to the practice of other teachers.

Keywords: Green Chemistry; Chemical Experimentation; STS Teaching; Sustainability; High School.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Grafo dos autores dos artigos de QV investigados (2007-2017) 31
Figura 2 – Grafo de palavras-chave de publicações sobre o ensino de QV. 32
Figura 3 – Grafo de autores dos artigos investigados sobre ensino de Química no CTS. 39
Figura 4 – Grafo de palavras-chave de artigos sobre o ensino de Química no CTS. 40
Figura 5 – Grafo de autores de artigos sobre experimentação química. 47
Figura 6 – Grafo de palavras-chave de artigos sobre experimentação química. 48
Figura 7 – Grau de verdura química crescente nas Estrelas Verdes 90
Figura 8 – Caminho metodológico da pesquisa. 94
Figura 9 – Nuvem de palavras sobre QV no início do curso. 107
Figura 10 – Extratos de casca de laranja e cravo-da-índia em diferentes solventes: (A) Laranja/etanol; (B) Laranja/água; (C) Cravo/etanol; (D) Cravo/água 111
Figura 11 – Resultado da transesterificação de óleo usado: (A) Produtos separados em fases; (B) Biodiesel. 115
Figura 12 – Nuvem de palavras sobre QV no final do curso. 120
Figura 13 – Curcuminóides presentes no açafrão. 128
Figura 14 – Bioplástico produzido a partir do bagaço da laranja. 132

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Publicações de QV no período de 2007-2017. 27
Gráfico 2 – Autores por instituição dos artigos sobre QV (2007-2017). 28
Gráfico 3 – Artigos sobre ensino de Química no CTS brasileiro. 35
Gráfico 4 – Número de autores por instituição dos artigos sobre ensino de Química (1996-2018). 36
Gráfico 5 – Artigos de experimentação organizados por disciplina (1990-2018)..... 43
Gráfico 6 – Artigos de experimentação em Química publicados por ano. 44
Gráfico 7 – Número de autores por instituição dos artigos sobre experimentação. 45
Gráfico 8 – Respostas dos alunos sobre o os aspectos de QV e o modo de atuar das indústrias. 146
Gráfico 9 – Resposta dos alunos sobre os impactos das práticas de QV. 147
Gráfico 10 – Resposta dos alunos sobre os ODS e os propósitos de QV. 148

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Referências mais citadas nos artigos sobre QV. 29
Tabela 2 – Medidas de centralidade para os autores dos artigos sobre QV em análise. 31
Tabela 3 – Medidas de centralidade para as palavras-chave dos artigos sobre QV 33
Tabela 4 – Referências mais citadas sobre o ensino de Química nos artigos analisados 37
Tabela 5 – Medidas de centralidade para os autores dos artigos sobre ensino de Química no CTS. 39
Tabela 6 – Medidas de centralidade para as palavras-chave dos artigos sobre ensino de Química. 41
Tabela 7 – Referências mais citadas nos artigos sobre experimentação. 45
Tabela 8 – Medidas de centralidade para os autores dos artigos sobre experimentação. 47
Tabela 9 – Medidas de centralidade para as palavras-chave dos artigos de experimentação. 49
Tabela 10 – Critérios para avaliação dos riscos em métricas holísticas 86
Tabela 11 – Critérios para a realização da análise interna. 88
Tabela 12 – Critérios para a realização da análise externa. 88
Tabela 13 – Pontuação dos princípios para a construção da EV. 90
Tabela 14 – Carga horária do curso de extensão em QV - Presencial 95
Tabela 15 – Experimentos selecionados para o estudo sobre QV. 96
Tabela 16 – Carga horária do curso de extensão em QV - Remoto 97
Tabela 17 – Matrizes verdes elaboradas pelos participantes do curso. 119
Tabela 18 – Projetos propostos pelos alunos da primeira turma do curso. 121
Tabela 19 – Projetos propostos pelos alunos da segunda turma do curso. 142
Tabela 20 – Unidades de sentido e categorias do corpus da turma modo presencial... 150
Tabela 21 – Unidades de sentido e categorias do corpus da turma modo remoto..... 154
Tabela 22 – Unidades de sentido e categorias do corpus da turma modo remoto..... 155
Tabela 23 – Unidades de sentido e categorias do corpus da turma modo remoto..... 157
Tabela 24 – Unidades de sentido e categorias do corpus da turma modo remoto..... 159

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO **11**

INTRODUÇÃO **14**

1- REVISÃO DA LITERATURA **26**

1.1- MAPEAMENTO SOBRE O ENSINO DE QV EM PUBLICAÇÕES NACIONAIS **27**

1.2- MAPEAMENTO SOBRE O ENSINO DE QUÍMICA NO ENSINO CTS BRASILEIRO **35**

1.3- MAPEAMENTO SOBRE EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA EM PUBLICAÇÕES NACIONAIS **42**

2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA **51**

2.1- O CONTEXTO DA QUÍMICA VERDE **51**

2.1.1- Química Verde e a Sustentabilidade 58

2.1.2- Sobre o ensino da Química Verde 62

2.2- EDUCAÇÃO CTS E ENSINO CTS **71**

2.3- ATIVIDADES EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE QUÍMICA **80**

2.3.1 – Métricas Holísticas da Química Verde 85

3- ASPECTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA **93**

3.1- DELINEAMENTO DA PESQUISA **93**

3.1.1- Escolha de temas para a experimentação em Química Verde 94

3.1.2- Elaboração e aplicação do curso de extensão: modo presencial 95

3.1.3- Produção de vídeos de experimentos químicos 95

3.1.4- Elaboração e aplicação do curso de extensão: modo remoto 97

3.1.5- Pesquisa de opinião dos alunos sobre Química Verde 98

3.1.6- Análise de projetos propostos pelos alunos 98

4- O CURSO DE EXTENSÃO "EXPERIMENTAÇÃO EM QUÍMICA VERDE" **101**

4.1- SOBRE A UNIDADE ESCOLAR, OS ALUNOS PARTICIPANTES E A AÇÃO DE EXTENSÃO **101**

4.2- OS TEMAS ABORDADOS SOBRE QV **103**

4.3- PRIMEIRA VERSÃO DO CURSO DE EXTENSÃO – MODO PRESENCIAL **106**

4.3.1- Experimentação Química 106
4.3.2- Relato da experiência – modo presencial 106
4.4- SEGUNDA VERSÃO DO CURSO DE EXTENSÃO – MODO REMOTO 122
4.4.1- Considerações prévias à execução do curso 122
4.4.2- Relato da experiência – modo remoto 123
4.4.3- Resultados e discussão da pesquisa de opinião dos alunos sobre QV 143
5- ANÁLISE TEXTUAL DISCURSIVA DOS PROJETOS PROPOSTOS 150
5.1- PRIMEIRA TURMA – MODO PRESENCIAL 150
5.2- SEGUNDA TURMA – MODO REMOTO 153
6- CONSIDERAÇÕES FINAIS 162
7- ESTUDOS FUTUROS 171
REFERÊNCIAS 172
APÊNDICES 190
APÊNDICE 1 - EMENTA DA PRIMEIRA VERSÃO DO CURSO DE EXTENSÃO 190
APÊNDICE 2 - EXPERIMENTOS QUÍMICOS – AULAS PRESENCIAIS 192
APÊNDICE 3 - EMENTA DA SEGUNDA VERSÃO DO CURSO DE EXTENSÃO 194
APÊNDICE 4 - EXPERIMENTOS QUÍMICOS – AULAS REMOTAS 198

APRESENTAÇÃO

Este texto não é fruto apenas dos resultados da tese que desenvolvi, mas, também, dos questionamentos e anseios que me cercam e que foram se constituindo ao longo da minha vida acadêmica e profissional. Por isso, antes de chamar a sua atenção para o enredo do trabalho que foi realizado, gostaria de falar um pouco sobre a minha trajetória, desde a escolha pelo curso de Licenciatura em Química até a minha atuação como professora.

A percepção da vocação profissional foi motivo de grande conflito interior para mim. O exercício do magistério sempre me fascinou, mas sua desvalorização perante a sociedade sempre me desmotivou, me fez preconceituosa. O gosto pela Química surgiu no Ensino Médio e, chegada a hora da decisão, optei pela Engenharia Química, profissão respeitada.

Escolha errada, porém, fundamental para o meu amadurecimento. Anos difíceis, mas que me trouxeram questionamentos, não apenas pela dificuldade em cursar disciplinas que eu pouco entendia, mas, pela observação das práticas dos meus professores.

A minha percepção era de que existia um distanciamento muito grande na relação aluno-professor, o que me fazia sentir desamparada. Eu simplesmente não concebia isso. Era como se eu não fizesse parte daquele universo.

Foi então que percebi o quanto era necessário superar o meu próprio preconceito e lutar para fazer diferente. Prestei vestibular novamente e ingressei no curso de Licenciatura em Química na UFF. Era certo que lá também me depararia com professores com as mesmas características descritas acima, mas nesse momento eu já havia transformado a decepção em ideal: eu faria diferente!

Pensando nisso, abracei todas as oportunidades que poderiam contribuir para a minha formação como professora: monitorias, projetos de extensão, pré-vestibular social etc. Eu imaginava que a prática seria muito diferente da teoria e, por isso, busquei nessas alternativas uma chance de me preparar melhor para enfrentar os desafios do cotidiano do professor.

No entanto, em determinado momento, senti que as possibilidades de adquirir experiência antes de obter o diploma estavam se esgotando e, então, em conversa com

minha professora-orientadora de monografia, decidimos fazer um trabalho de conclusão de curso voltado para os alunos iniciantes do curso noturno de Licenciatura em Química.

Neste, estabelecemos uma estratégia de aproximação do licenciando com sua futura realidade profissional, além de permitir que desenvolvessem pequenos trabalhos didáticos em uma escola real.

No último semestre da graduação, comecei a trabalhar como monitora em uma escola particular e fui aprovada em um concurso para professor da Rede Pública de Ensino do Estado do Rio de Janeiro.

Nesse período deparei-me com situações que só o dia a dia de trabalho nos apresenta, como dificuldades devido a infraestrutura deficiente da escola e muitos alunos com baixa perspectiva de futuro.

Isso foi me desmotivando aos poucos ao ponto de, em determinado momento, questionar-me se realmente essa era a minha vocação. Eu estava me sentindo esgotada de possibilidades, e aliado a isso havia também o desgaste emocional que me impedia de perceber que era possível encontrar novos caminhos para o meu trabalho. Então, quando menos esperava, recebi um telefonema de uma professora, que me convidou para substituí-la durante sua licença-maternidade em um projeto realizado na escola. Antes que ela falasse melhor do que se tratava, eu aceitei, tamanha era a minha necessidade de inovar.

Foi aí que eu conheci e ingressei como supervisora no Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID). Pude notar que esse trabalho diferenciado e feito em parceria era transformador para os estudantes e, em consequência, para o professor também. Os discentes ficavam mais motivados, participativos e, aos poucos, eu ia resgatando o prazer de estar na escola.

Por outro lado, percebi que estudar para melhorar a minha prática docente seria um caminho para contribuir com o processo de ensino-aprendizagem de meus alunos dentro dessa realidade. Nesse sentido, participar do PIBID era fundamental, porém, faltava embasamento teórico para entender, lidar e superar os desafios diários. Além disso, minha atuação na instituição privada estava muito aquém do que eu desejava.

Diante disso, decidi buscar qualificação na universidade e, assim, iniciei novos estudos no Mestrado Profissional em Ensino de Ciências da Natureza na UFF.

Foram dois anos dolorosos de dedicação, nos quais eu conciliei estudo e trabalho. Não fui feliz na escolha da minha pesquisa e isso me gerou uma enorme frustração, embora também tenha trazido amadurecimento.

Nesse período, vislumbrei que lecionar em uma instituição de ensino federal garantiria uma remuneração compatível com a que eu tinha e poderia me proporcionar a oportunidade de estudar e trabalhar sem me levar a exaustão, com melhores condições de trabalho e possibilidades além da preparação dos estudantes para os exames de vestibular. Desta forma, também me dediquei a estudar para concursos da rede federal de ensino.

Então, durante o mestrado fui aprovada em terceiro lugar no exame do CEFET/RJ, campus Itaguaí, mas tendo apenas uma vaga, não fui contemplada. Entretanto, após dois anos, fui convocada para assumir uma vaga no campus Maracanã e, assim, iniciei minha jornada no CEFET/RJ.

Como qualquer outra instituição, temos muitos desafios a superar, mas inegavelmente um mundo de possibilidades se abriu para mim. Além da regência em sala de aula, logo no primeiro mês, pude participar de um curso de extensão sobre metodologias de ensino centradas no estudante, e isso rendeu ideias que foram posteriormente desenvolvidas e apresentadas na exposição tecnológica da escola, além de um artigo publicado.

Percebi que de fato eu teria a oportunidade de conciliar estudo e trabalho e, conversando com uma colega de equipe (Professora Taís dos Santos), conheci o PPCTE. Na época, o coordenador do curso, que hoje é meu orientador (Professor Alvaro Chrispino), me recebeu muito gentilmente e, sem que eu percebesse, já tinha começado a me orientar. Iniciei, então, como ouvinte, cursando as disciplinas obrigatórias, que foram fundamentais para o amadurecimento das ideias iniciais do meu projeto de pesquisa, posteriormente, aprovado e desenvolvido ao longo de quatro anos.

Sendo assim, na certeza de que essa etapa de formação contribuiu para o meu crescimento profissional, apresento e te convido a ler, nas próximas páginas, a minha tese de Doutorado.

INTRODUÇÃO

As revoluções industriais impulsionaram avanços científicos e tecnológicos que interferiram na dinâmica de existência do planeta. Por um lado, contribuíram para a melhoria da qualidade de vida dos seres humanos, entretanto, promoveram também enormes prejuízos ao meio ambiente e, consequentemente, ao próprio homem, que é parte integrante desse meio. Por isso, autoridades governamentais e não governamentais, cientistas, empresários e educadores, dentre outros, têm se dedicado a estudar formas de superar essa problemática, seja promovendo medidas para reverter danos já instaurados, seja para minimizar ou impedir novos prejuízos.

Ao longo do tempo, o aumento da poluição culminou em um conjunto de desastres ambientais, motivando a população, cientistas e governantes do mundo a iniciarem movimentos em prol da questão ambiental. Nesse sentido, várias ações foram tomadas desde a promoção de leis de proteção ambiental ao desenvolvimento de conferências e convenções para discussão dessa questão.

Farias e Fávaro (2011) relatam que os primeiros sinais de preocupação ambiental começaram em 1949, nos EUA, com a Conferência Científica da Organização das Nações Unidas sobre a Conservação e Utilização de Recursos, mas foi na década de 1960 que aconteceu um marco de extrema relevância envolvendo as questões ambientais: a publicação do livro "Primavera Silenciosa" de Rachel Carson.

> Este livro é considerado como o primeiro alerta mundial contra os efeitos nocivos do uso de pesticidas na agricultura (como o DDT – Dicloro-Difenil-Tricloroetano) e marca o surgimento de um movimento ecológico apoiado em uma literatura que anunciava a consciência dos limites do progresso e dos riscos associados à exploração sem medida dos recursos das sociedades industriais. A obra tornou público o impacto da indústria química, ajudando a suscitar uma mudança de atitude dos Estados Unidos e de outros países do mundo em relação aos pesticidas e poluentes. A denúncia se tornou um marco na revolução ambientalista e despertou um movimento em torno da consciência ecológica. (DIAS, 2016, p.36)

As questões ambientais entraram em foco a partir de então. Em 1968 aconteceu a Conferência da Biosfera – evento científico realizado em Paris para discutir sobre o uso racional e a conservação dos recursos da biosfera – e a publicação do Relatório do Clube de Roma, que tratou de problemas sérios sobre o futuro da humanidade e, a partir do qual

a “sociedade passou a fazer maior pressão sobre os governos acerca da questão ambiental” (FARIAS e FÁVARO, 2011, p.1090).

De acordo com Brüseke (1995), esses debates começaram na década de 1960 com o Clube de Roma – grupo de pessoas (empresários, diplomatas, cientistas e educadores, dentre outros), que debateu questões relacionadas ao crescimento populacional, capacidade industrial e estabilidade econômica e ecológica – culminando na elaboração do Relatório intitulado “Os Limites do Crescimento”, publicado em 1972. Nesse mesmo ano, a Organização das Nações Unidas (ONU) organizou a primeira grande reunião internacional para tratar da questão ambiental, Conferência de Estocolmo, cujos debates resultaram em novas conferências, criação de comitês de estudos e elaboração de resoluções, decretos e programas ambientais por diversas nações.

Onze anos depois, foi criada a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, que publicou em 1987 o relatório “Nosso Futuro Comum”, mais conhecido como Relatório Brundtland, que mostrou, “entre suas principais recomendações, a necessidade da realização de uma conferência mundial para conduzir os esforços na busca do estabelecimento de outra forma de relação com o ambiente” (MELLO e HOGAN, 2007, p.63) e apresentou pela primeira vez o conceito de desenvolvimento sustentável, “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades” (ONU, 1991, p.46).

Esse é um conceito muito difundido, porém bastante criticado. Esse entendimento,

> além de vago, apresenta uma contradição, pois não deixa claro quais são as necessidades da geração presente, tampouco as do futuro. No entanto, é preciso considerar que, embora ainda esteja em construção, apresenta uma evolução histórica associada ao retrato da economia global, fruto das discussões realizadas nos movimentos ambientalistas mundiais. (ROLOFF, 2016, p.112)

Desenvolvimento é um processo de crescimento e evolução que, no contexto socioeconômico, pressupõe a utilização dos recursos da Terra. Enquanto a sustentabilidade significa

> o conjunto dos processos e ações que se destinam a manter a vitalidade e a integridade da mãe Terra, a preservação de seus ecossistemas com todos os elementos físicos, químicos e ecológicos que possibilitam a existência e a reprodução da vida, o atendimento das necessidades da

> presente e das futuras gerações, e a continuidade, a expansão e a realização das potencialidades da civilização humana em suas várias expressões (BOFF, 2012, p.14).

Desta forma, o conceito de desenvolvimento sustentável foi pensado para ocorrer dentro dos critérios da sustentabilidade que, no sentido ecológico, pressupõe a criação de meios que permitam conservar e preservar o meio ambiente, ou seja, é preciso que se estabeleça uma mudança na relação com a natureza e a vida no planeta (BOFF, 2011; BOFF, 2012).

Nesse viés, esse conceito se torna ainda mais complexo, pois, neste caso, o progresso tem gerado mudanças nos ecossistemas. Segundo o Relatório de Brundtland, só há sustentabilidade se "as políticas de desenvolvimento considerarem a possibilidade de mudanças quanto ao acesso aos recursos e quanto à distribuição de custos e benefícios" (ONU, 1991, p.46).

A intervenção humana sobre os sistemas naturais impacta a saúde do planeta e, por isso, é importante respeitar os limites impostos pela natureza. Porém, a insensatez política e econômica tem ocasionado cada vez mais o desgaste do meio ambiente.

> [...] por causa do progresso técnico, do "cerco" das terras comuns, do desgaste dos direitos comuns sobre florestas e outros recursos, e da intensificação do comércio e da produção para o mercado, as responsabilidades quanto às decisões estão sendo retiradas dos grupos e dos indivíduos. [...]. Todos estariam em melhor condição se cada um considerasse os efeitos de seus atos sobre os demais. Mas ninguém está disposto a crer que os outros agirão desse modo, e assim todos continuam a buscar seus próprios interesses. As comunidades ou os governos podem compensar essa situação mediante leis, educação, impostos, subsídios e outros métodos. (ONU, 1991, p.50)

Assim, como consequência deste relatório, em 1992, foi realizada no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, também chamada de "Rio-92", que foi considerada um marco internacional, no qual a Avaliação dos Impactos Ambientais (AIA) foi consolidada como instrumento na tomada de decisão sobre questões socioambientais (SÁNCHEZ e CROAL, 2012).

O evento, que ficou conhecido como "Cúpula da Terra", teve dentre suas consequências a construção do Protocolo de Quioto, que foi um acordo assinado em 1997 por diversos países, que se comprometeram a reduzir a emissão de gases de efeito estufa. Outra consequência foi a adoção da Agenda 21, na qual governos delinearam planos de

ação para superar o modelo insustentável de crescimento econômico vigente, que tanto contribuía para o desgaste ambiental. A agenda tornou relevante a ideia do princípio da precaução, que deve ser utilizado em situações de incerteza científica, em que podem ocorrer impactos ambientais graves ou irreversíveis (MARQUES e MACHADO, 2014).

Além dessas questões, a agenda também abrangeu metas que envolviam a erradicação da pobreza e ações para a inclusão social, dentre outras, no intuito de alcançar o desenvolvimento sustentável para o século XXI. Nesse sentido, foi elaborado outro documento intitulado "Carta do Rio de Janeiro", em que foram definidos vinte e oito princípios, fundamentados na promoção do desenvolvimento das nações mediante a proteção do meio ambiente.

Entretanto, nos anos seguintes, estudiosos constataram a dificuldade para implementar todas as ações propostas e alcançar o objetivo do desenvolvimento sustentável.

> Para os analistas ficava cada vez mais claro a contradição existente entre a lógica do desenvolvimento de tipo capitalista que sempre procura maximalizar os lucros às expensas da natureza, criando grandes desigualdades sociais (injustiças) e entre a dinâmica do meio ambiente que se rege pelo equilíbrio, pela interdependência de todos com todos e pela reciclagem de todos os resíduos (a natureza não conhece lixo) (BOFF, 2012, p.35).

Almejando acelerar o atendimento desses propósitos, a ONU organizou uma nova conferência no ano 2000 – Cúpula do Milênio – na qual foram estabelecidos oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), com o desafio de serem alcançados por todos os povos do mundo até 2015: erradicar a extrema pobreza e a fome; universalizar a educação primária; promover a igualdade de gênero e a autonomia da mulheres; reduzir a mortalidade na infância; melhorar a saúde materna; combater o HIV/AIDS, a malária e outras doenças; e assegurar a sustentabilidade ambiental.

As conferências que se seguiram, Rio+10 (2002) e Rio+20 (2012), tiveram como objetivo avaliar o andamento das ações sugeridas e desenvolver novas propostas de implementação. De acordo com alguns pesquisadores, esses eventos não trouxeram avanços significativos em relação à primeira (GUIMARÃES e FONTOURA, 2012; DIAS, 2017; POTT e ESTRELA, 2017), reafirmando apenas a preocupação da sociedade e o compromisso das nações frente o desafio de promover o desenvolvimento sustentável.

Boff (2012, p.36) afirma que na Rio+10 “a questão da salvaguarda do planeta e da preservação de nossa civilização foi apenas referida marginalmente. Falou-se de sustentabilidade, mas sem constituir a preocupação central”.

Por outro lado, em relação ao cumprimento dos ODM, Roma (2019) constatou que o Brasil apresentou avanços consideráveis. Nesse sentido, a Rio+20 resultou em um documento intitulado “O Futuro que Queremos”, que foi base para a construção em 2015 de um novo conjunto de objetivos e metas, definidos como Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), previstos na Agenda 2030: erradicação da pobreza; fome zero e agricultura sustentável; saúde e bem-estar; educação de qualidade; igualdade de gênero; água potável e saneamento; energia limpa e acessível; trabalho decente e crescimento econômico; indústria, inovação e infraestrutura; redução das desigualdades; cidades e comunidades sustentáveis; consumo e produção responsáveis; ação contra a mudança global do clima; vida na água, vida terrestre; paz, justiça e instituições eficazes; e parcerias e meios de implementação.

Desta forma, percebe-se que a humanidade tem estado diante de um dos maiores desafios desde o início da sua existência. E nesse revés, as ações de enfrentamento, que permitam respeitar os limites da Terra, necessitam de comprometimento político, social e econômico, além de envolverem mudanças na forma de educar, fazer ciência e desenvolver tecnologia.

Para Epicoco, Oltra e Saint Jean (2014), a transição para sistemas mais sustentáveis depende principalmente da capacidade das empresas de desenvolver novos métodos, produtos e/ ou processos que beneficiem o meio ambiente. Nesse sentido, a Química tem participação fundamental. “A Química participa do desenvolvimento científico-tecnológico com importantes contribuições específicas, cujas decorrências têm alcance econômico, social e político” (BRASIL, 1998, p.30).

O setor industrial, por exemplo, contribui para a geração de uma gama de produtos de grande utilidade para o desenvolvimento das nações. Por outro lado, também contribui para a degradação do meio ambiente, seja pela emissão de poluentes, seja pela utilização dos recursos naturais de modo agressivo.

Desta forma, a preocupação com o crescente aumento da poluição ambiental mobilizou especialistas da área a desenvolver técnicas de remediação, como o monitoramento da emissão de contaminantes e processos de tratamento de rejeitos, por

exemplo. Na década de 1980, esse movimento deu origem a vários termos ainda hoje usados para caracterizar a Química preocupada com o meio ambiente: química limpa, química ambiental, química verde, química benigna e química sustentável (EPICOCO, OLTRA e SAINT JEAN, 2014).

Sendo assim, o escopo deste trabalho está fundamentado nos aspectos da Química Verde (QV), cuja origem é relatada de modo sucinto por Mestres (2013):

> A química verde nasceu na Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos Estados Unidos da América no início dos anos 1990 como um enfoque e uma ferramenta conceitual para a proteção do meio ambiente frente a contaminação originada pela indústria química, [...] (MESTRES, 2013, p. 103).

Em 1998, Paul Anastas e John Warner publicaram o primeiro livro sobre teoria e prática da QV, na qual a definiram como: "consiste na utilização de um conjunto de princípios que reduzem ou eliminam o uso ou a geração de substâncias perigosas durante o planejamento, manufatura e aplicação de produtos químicos" (ANASTAS e WARNER, 1998, p.11).

Para Zuin (2013, p.571),

> a conscientização de que os recursos naturais não podem ser predatoriamente utilizados reverbera também na constatação de que os serem humanos que os usam os ressignificam e também precisam deixar de se relacionar predatoriamente. Os pressupostos básicos da Química Verde, na medida em que questionam formas de regressão, referendam a veracidade e a importância central de tal premissa. (ZUIN, 2013, p.571)

Desta forma, estes princípios demandaram uma nova postura de trabalho dos profissionais atuantes nas indústrias e, ao mesmo tempo, começaram a se disseminar para outros segmentos, como afirma Lenardão et al. (2003, p.124):

> Este conceito, que pode também ser atribuído à tecnologia limpa, já é relativamente comum em aplicações industriais, especialmente em países com indústria química bastante desenvolvida e que apresentam controle rigoroso na emissão de poluentes e vem, gradativamente, sendo incorporado ao meio acadêmico, no ensino e pesquisa (LENARDÃO et al., 2003, p. 124).

Na área de ensino, estudos mostram que o ensino da QV vem se consolidando nas etapas da graduação e pós-graduação (LEAL e MARQUES, 2008; MARQUES, 2012;

CORRÊA et al., 2013; ZUIN, 2013; SUMMERTON et al., 2013; ROLOFF e MARQUES, 2014). Entretanto, a inserção desses conceitos no ensino médio ainda é modesta, como apontam as pesquisas de Brandão *et al*. (2018), Borreda e Vilches (2016) e Zuin e Marques (2015).

Pinto *et al.* (2009, p. 568) afirmam a importância de "inocular nos estudantes e profissionais o comportamento verde", enquanto, Zandonai et al. (2014, p.80) ressaltam a necessidade de inserir e problematizar a QV no campo da Química, destacando que "a produção de propostas didáticas verdes [...] mostram o potencial para o estabelecimento de condições [...] para o enfrentamento de problemáticas socioambientais". Nesse sentido, acredita-se que indivíduos inseridos na filosofia dos princípios da QV poderão atuar de modo mais consciente diante de questões decisivas sobre o meio ambiente.

No entanto, faz-se necessário pensar sobre a forma de abordagem desses conceitos no estudo da Química no ensino médio.

É importante destacar que vários fatores influenciam o processo de escolha sobre a condução do ensino de Química em sala de aula, como a definição dos objetivos desse ensino e o currículo, por exemplo. Sendo assim, considera-se fundamental trazer à tona as bases legais da educação brasileira que balizam a discussão a respeito desses aspectos.

De acordo com o Art. 2º da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN), a educação escolar "tem por finalidade o pleno desenvolvimento do educando, seu preparo para o exercício da cidadania e a sua qualificação para o trabalho" (BRASIL, 1996).

As Diretrizes Nacionais Curriculares para o Ensino Médio (DCNEM) e os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) apresentam, aos educadores, orientações que deveriam conduzir com sucesso o processo de ensino e aprendizagem à obtenção dessa finalidade. Ambos os documentos enfatizam que o ensino de Química visa a contribuir para a formação da cidadania e destacam a contextualização do ensino como fundamental para isso (BRASIL, 1998; BRASIL, 2006).

A Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), que define o conjunto de aprendizagens que todos os alunos devem desenvolver durante a educação básica, estabelece que

> cabe às escolas de Ensino Médio contribuir para a formação de jovens críticos e autônomos, entendendo a crítica como a compreensão informada dos fenômenos naturais e culturais, e a autonomia como a

> capacidade de tomar decisões fundamentadas e responsáveis (BRASIL, 2018, p. 463).

Tendo isso em vista, conhecer sobre as bases legais da educação brasileira é importante para que se pense em abordagens de ensino compatíveis com os objetivos previstos legalmente. No entanto, levando-se em consideração que a atual reforma curricular ainda não foi efetivamente implementada e as discussões sobre suas contribuições e limitações ainda são incipientes, este trabalho não foi pautado nas orientações da BNCC.

Deste modo, passemos então a discutir sobre aspectos relacionados à forma de ensinar os conteúdos científicos. Segundo Auler (2003; 2007), abordagens centradas apenas nos conteúdos e, totalmente desvinculadas do cotidiano social e de trabalho dos alunos, contribuem para a formação de cientistas, além de tornarem as aulas desinteressantes, levando os estudantes a se questionarem sobre o sentido desse estudo.

> [...] pode ser interessante ensinar as disciplinas, por elas mesmas, a futuros especialistas, mas não devemos nos assombrar se, quando nosso ensino está majoritariamente centrado sobre os interesses dos cientistas, os jovens acabem ficando desgostosos com o ensino de ciências (AULER, 2003, p. 78).

No entanto, os professores passaram tanto tempo imersos nesse modo de ensinar/aprender, que mesmo diante dessas constatações ainda sentem dificuldade para superar esse tipo de abordagem. Aliado a isso, outros fatores como o processo de formação inicial, políticas públicas, infraestrutura e gestão escolar, remuneração, livros didáticos, entre outros, contribuem para a manutenção deste *status quo*.

Além disso, diversos autores relatam que essa forma meramente propedêutica do ensino também contribui para que os estudantes desenvolvam uma concepção cheia de mitos a respeito da ciência, por exemplo: ciência neutra, infalível, salvacionista e determinante para o desenvolvimento de tecnologias que levam sempre ao progresso, dentre outros (AULER e DELIZOICOV, 2001; MANASSERO e VÁZQUEZ, 2002; SANTOS e MORTIMER, 2002; BAZZO, LINSINGEN e PEREIRA, 2003).

Nesse sentido, o ensino alicerçado na tríade Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) tem se mostrado como uma boa possibilidade ao professor que deseja ascender à docência estritamente conteudista. Essa abordagem propõe caminhos que podem conduzir à

formação de indivíduos críticos e com maior capacidade para fazer escolhas mais conscientes.

O ensino CTS valoriza a aprendizagem dos conteúdos científicos, mas não como uma finalidade e sim como meio para a compreensão da ciência desmitificada, na qual a tecnologia não corresponde a uma consequência da ciência e que gera sempre benefícios para a sociedade. Ao contrário, os três aspectos CTS atuam de forma integrada relacionando a ciência e a tecnologia num contexto social e, dessa forma, possibilitam aos alunos sentirem-se parte desse estudo, uma vez que seus comportamento e pensamento enquanto atores sociais são partes fundamentais dessa abordagem, ou seja, o estudante deixa de receber um conhecimento pronto.

Manassero e Vázquez (2002) afirmam que:

> O objetivo do ensino de atitudes relacionadas com a ciência não deve apenas promover um ponto de vista particular sobre ciência, mas abrir a formação para as diferentes alternativas que ainda estão em estudo, debate e, se possível, eleições, reconhecendo a existência de respostas plurais a questões importantes sobre a ciência. (MANASSERO e VÁZQUEZ, 2002, p.17).

Sendo assim, o ensino CTS pressupõe que situações cotidianas do meio social possam ser tratadas de forma ampla em sala de aula, como é o caso das questões ambientais. E, nessa perspectiva, o ensino de QV na abordagem CTS tem sido bastante relatado na literatura. Marques e Machado (2018) afirmam que as dimensões sociais, econômicas e ambientais de QV apontam para uma perspectiva de educação científica situada nos estudos CTS. Sandri e Santin Filho (2017, p.113) apontam que essa escolha permite “extrapolar os limites restritos do conteúdo e explorar suas implicações em contextos mais amplos”, enquanto Moreira, Aires e Lorenzetti (2017, p.202), concluíram em um estudo sobre essa relação que “além de proporcionar conhecimentos científicos puros, também possibilita que os alunos tenham uma visão mais crítica do mundo.”

Tendo isso em vista, acredita-se que o estudo dessa temática numa abordagem CTS permita identificar e compreender alguns limites e possibilidades fundamentais para a construção de argumentos científicos, podendo contribuir de algum modo para a formação de alunos mais esclarecidos, com pensamento crítico, capazes de fazer escolhas mais lúcidas e interagir de modo mais responsável com o meio ambiente.

Além da abordagem de ensino, outro aspecto importante dessa discussão relaciona-se com as estratégias didáticas utilizadas para introduzir o ensino de QV. Costa, Ribeiro e Machado (2008) e Costa (2012) analisaram artigos publicados pela *Journal of Chemical Education* (JCEd), entre 1995 e 2011, e identificaram que a maior parte deles contempla atividades experimentais.

Marques e Machado (2018) ampliaram a pesquisa e investigaram artigos publicados até 2014 pelas revistas internacionais *Green Chemistry, JCEd e Educación Química*, identificando três vertentes considerando as propostas didáticas apresentadas nos textos: enxerto de conteúdos de QV na disciplina regular de Química; QV como disciplina ou curso introdutório; e QV como componente transversal do currículo.

Em âmbito nacional, Zandonai et al. (2014) afirmam que os conceitos de QV têm sido introduzidos nas instituições de ensino brasileiras a partir da experimentação.

Levando em consideração a natureza prática dos princípios da QV, estudar sobre esses conceitos a partir de atividades experimentais pode tornar o processo de ensino-aprendizagem mais compreensível.

Segundo Galiazzi et al. (2001, p.250), "é consenso que a experimentação é uma atividade fundamental no ensino de Ciências", porém, não se pode dizer o mesmo em relação aos objetivos das atividades experimentais, que ainda são causa de frequente discussão. Dentre os mais comuns, destacam-se: motivação dos alunos; ensino do método científico; esclarecimento da teoria, verificação de fatos; manipulação de instrumentos e investigação para resolução de problemas. De acordo com a literatura (HODSON, 1994; 2005; GIORDAN, 1999, GALIAZZI et al., 2001), as finalidades das práticas experimentais no ensino de Química apresentam potencialidades e limitações.

A crença de que a experimentação em sala de aula estimula a participação dos estudantes é bastante questionada, visto que a motivação por si só não garante a aprendizagem, além do fato de que muitos não se interessam por esse tipo de atividade. A reprodução literal de um roteiro sem o incentivo a pesquisa também se constitui em fator de limitação, já que é instrumento fundamental para a construção do conhecimento; e a mera manipulação de utensílios e materiais, em geral, não provoca reflexão, sendo interessante, talvez, apenas para a formação de cientistas.

Por outro lado, Gonçalves e Marques (2011, p.899) afirmam que "a problematização como um princípio no desenvolvimento de atividades experimentais é

uma forma de superar o caráter meramente ilustrativo de conhecimentos teóricos que, às vezes, a elas se atribui". Andrade e Zuin (2021) corroboram com essa ideia e acrescentam que ao inserir problematização, incentivo à pesquisa e processos mais verdes nas propostas experimentais, de modo que auxiliem os estudantes no entendimento de questões econômicas, sociais e ambientais mais amplas, isso contribui para a transição da aprendizagem promovida pela experimentação para além da instrumentação.

Portanto, é possível que, por meio da experimentação, os discentes tenham a criatividade e o senso crítico estimulado, sejam oportunizados a expressar questionamentos, elaborar argumentos e, assim, construir o conhecimento.

Deste modo, o entendimento dos conhecimentos científicos não decorre exclusivamente da experimentação ou da teoria, uma vez que as dimensões teórica e prática desses conhecimentos não são isoladas (BORGES, 2002). Não se trata apenas de motivar os alunos a partir da manipulação de aparatos, mas de envolvê-los nas atividades experimentais, estimulando sua capacidade de articular soluções.

Assim, considera-se que a inserção dos conceitos de QV no ensino médio, a partir da abordagem CTS e por meio da experimentação, pode contribuir para a formação cidadã dos alunos, no sentido de serem "capazes de tomar decisões que envolvem temas científicos, em especial os de interesse público" (MOURA e GUERRA, 2016, p. 730).

Levando isso em conta, este trabalho foi orientado pela seguinte pergunta de pesquisa: que contribuições a inserção de conceitos da QV, com enfoque na experimentação e sob a perspectiva CTS, pode oferecer para a formação cidadã dos alunos do ensino médio e técnico?

Nesse sentido, o trabalho teve por objetivo geral identificar e problematizar contribuições do ensino de QV na formação de alunos do ensino médio e técnico, centrado na experimentação e por meio da abordagem CTS; e propôs os seguintes objetivos específicos: articular conteúdos de Química do ensino médio e técnico com conceitos de QV; relacionar conceitos de QV com critérios da sustentabilidade; avaliar como os estudantes aplicam esses conceitos em áreas técnicas; e identificar impactos da pesquisa na prática docente da autora.

O trabalho foi desenvolvido no Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca[1] (CEFET/RJ), campus Maracanã, instituição onde a autora leciona com dedicação exclusiva e na carreira de magistério do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (EBTT). Um curso de extensão sobre experimentação em QV foi oferecido aos estudantes de nível médio e técnico, nas versões presencial (2019) e remota (2020), cujas experiências serão relatadas e analisadas ao longo do texto.

O presente trabalho está organizado em capítulos. O primeiro corresponde a revisão da literatura realizada por meio do estudo do estado da arte, no qual foram feitos mapeamentos de publicações nacionais sobre o ensino de QV, ensino de Química no ensino CTS e experimentação química. Na fundamentação teórica são apresentados os pressupostos teóricos que embasaram todo o processo de pesquisa: os princípios da QV e conceitos que fundamentam a prática de atividades verdes; educação CTS e abordagem de ensino CTS e experimentação em química.

Na sequência são descritos os aspectos metodológicos utilizados na realização da tese, indicando o tipo de pesquisa, a estruturação do curso de extensão e a metodologia de análise textual discursiva aplicada como método de avaliação. O quarto capítulo mostra considerações sobre o desenvolvimento do curso, bem como o relato das experiências vividas em duas turmas distintas. Finalmente, as considerações finais apresentam as contribuições do trabalho e reflexões sobre os objetivos alcançados.

Os últimos capítulos indicam estudos futuros, as referências bibliográficas citadas e os apêndices que contêm todo o material elaborado para suporte à realização da pesquisa.

[1] O Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca foi criado em 1917 e atualmente é uma instituição federal de ensino que possui 8 campi no estado do Rio de Janeiro, oferecendo cursos para o ensino médio e técnico integrado, subsequente, graduação e pós-graduação. Disponível em: www.cefet-rj.br

1- REVISÃO DA LITERATURA

O processo de busca, análise e descrição sistemática das produções científicas que envolvem o tema da pesquisa foi feito pelo grupo de pesquisa *CTS e Educação*[2], do qual a autora faz parte, por meio do estudo do estado da arte, visando a verificar a relevância do estudo para a pesquisa, além de identificar autores e referências bibliográficas importantes e assuntos de destaque vinculados ao tema.

Desta forma, realizou-se um mapeamento de publicações nacionais, no qual foram investigados periódicos da área de Ensino, indexados em Qualis A1, A2 e B1 pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior (CAPES), na classificação de triênio 2013-2016, empregando-se a análise de rede social.

A metodologia da Análise de Rede Social não estuda os itens individuais que constituem a rede, mas as relações por eles estabelecida, e tem sido amplamente utilizada pelo grupo de pesquisa CTS e Educação (D'ESCOFFIER, 2022; MELO et al., 2021; CARVALHO et al., 2021; RICARDO e CHRISPINO, 2021; DIONYSIO et al., 2020; BRANDÃO et al., 2018; BOUZON et al. 2018).

Esse tipo de análise "nos permite ter uma visão panorâmica de como se comporta uma área" (MELO et al., 2016, p. 594), a partir do desenho de uma rede, chamada de grafo, que mostra a interação entre entes diversos; por exemplo, palavras-chave, autores dos artigos e referências bibliográficas. Para a confecção gráfica se deve utilizar um *software*. Neste trabalho, empregou-se o *Node XL*, de acesso livre e gratuito, que forneceu também medidas de centralidade de entrada e intermediação.

Esses valores representam graus de relação entre os entes estudados, de acordo com a sua posição na rede. A centralidade de entrada indica quantas relações cada ente estabelece com os demais, enquanto a centralidade de intermediação apresenta a capacidade de um ente relacionar outros dois diferentes. Desta forma, quanto maiores forem essas medidas, maior é a relevância dos entes na rede.

Sendo assim, em vista de conhecer o estado da arte de todos os segmentos abarcados pelo tema da pesquisa, foi realizada revisão sobre o ensino de QV no Brasil, o

[2] O grupo de pesquisa *CTS e Educação,* credenciado no CNPq desde 2010, está vinculado ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação (PPCTE), do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ).

ensino de Química no ensino CTS brasileiro e a experimentação também no cenário nacional, cujos mapeamentos serão descritos a seguir.

1.1- Mapeamento sobre o ensino de QV em publicações nacionais

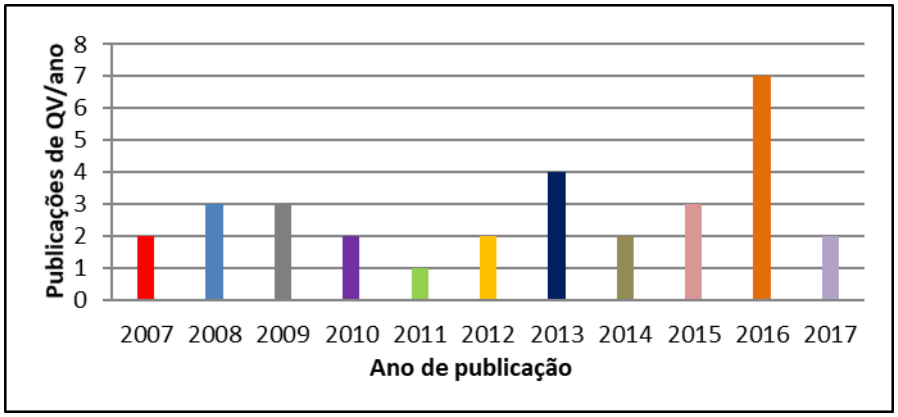
Esse estudo foi realizado em dois momentos: inicialmente para as revistas disponíveis até o primeiro semestre de 2017 – cujos resultados foram publicados pelo grupo de pesquisa em 2018 – e posteriormente foi atualizado até o primeiro semestre de 2021.

O primeiro foi feito no ano de 2017, quando a autora iniciou a sua pesquisa e, por isso, a catalogação dos dados ocorreu até o primeiro semestre daquele ano. O segundo mapeamento ocorreu em 2021 visando a atualizar as informações e a identificar possíveis mudanças de comportamento da área investigada.

Em ambos os momentos, o termo "Química Verde" foi utilizado no indexador de busca eletrônico de cada revista, presente nas palavras-chave, resumo e/ou corpo do texto resultando em 31 artigos inicialmente e 22 na atualização, totalizando 53 artigos investigados, no universo de 260 periódicos.

A análise dos dados obtidos mostrou que as publicações sobre o tema começaram em 2007 (Gráfico 1), pouco tempo após a sua origem, levando-se em consideração que esse conceito emergiu no setor industrial e, naturalmente, careceu de tempo para ser introduzido na área de ensino e ter as primeiras pesquisas publicadas.

Gráfico 1 – Publicações de QV no período de 2007-2017.



Fonte: BRANDÃO et al., 2018.

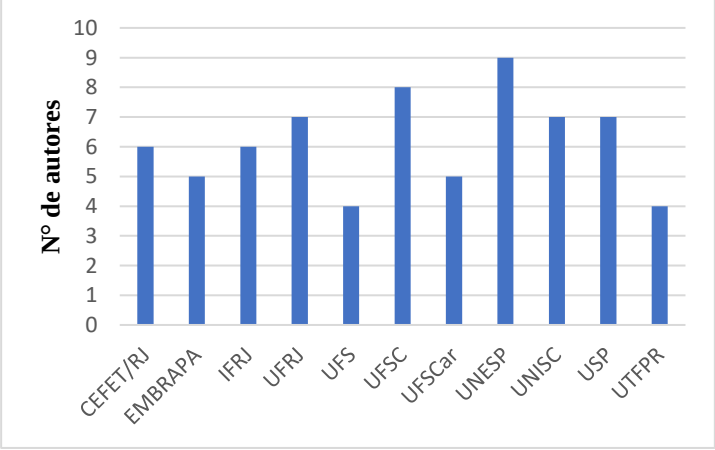
A investigação inicial mostrou que até o primeiro semestre de 2017 houve uma média de aproximadamente 2,8 publicações por ano (BRANDÃO ET AL., 2018). No período da atualização dos dados (2017 a 2021), verificou-se que nos anos mais recentes ocorreu um aumento significativo desse valor, passando a 5,5 publicações por ano, desconsiderando-se o primeiro semestre de 2021, cuja ausência de publicações talvez tenha sido reflexo das consequências da pandemia de COVID-19, iniciada em 2020.

Uma hipótese que explique esse aumento relevante pode ser a de que as atividades de ensino de Química têm dado enfoque às questões ambientais e de sustentabilidade (MARQUES *et al*., 2013; ROLOFF; MARQUES, 2018; SANDRI; SANTIN FILHO, 2019).

A pesquisa também indicou que as revistas Química Nova na Escola e Revista Brasileira de Ensino de Química foram as que mais publicaram ao longo dos anos, possivelmente por serem periódicos cujo escopo é o ensino de Química.

Ao analisar as instituições de vínculo dos autores dos artigos, notou-se que Universidade Estadual Paulista (UNESP), Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade em Santa Cruz do Sul (UNISC) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) foram as universidades que mais publicaram considerando todo o período analisado (de 2007 ao primeiro semestre de 2021), como mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2 – Autores por instituição dos artigos sobre QV (2007-2017).



Fonte: Elaborado pelo grupo de pesquisa CTS e Educação.

Percebe-se, então, que as regiões Sudeste e Sul se destacam neste cenário, como afirmam Almeida et al. (2019) em sua pesquisa sobre as instituições de ensino superior que ofertam disciplinas sobre QV.

Além disso, o conjunto dos 53 artigos mapeados apresentou um total de 1318 referências, cujas dez mais citadas aparecem na Tabela 1.

Tabela 1 – Referências mais citadas nos artigos sobre QV.

Posição	Número de citações	Referências
1	18	ANASTAS, P.T.; WARNER, J.C. *Green Chemistry:* theory and practice. Oxford University Press: Oxford, 1998.
2	15	LENARDÃO, E.J.; FREITAG, E.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. *Química Nova*, v.26, n.1, p.123-129, 2003.
3	8	FREIRE, P. Pedagogia do oprimido: saberes necessários à prática educativa. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1997.
4	8	SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ensaio Pesquisa em educação em ciências*, v.2, n.2, 2002.
5	6	MOZETO, A.A.; JARDIM, W.F. A química ambiental no Brasil. *Química Nova*, v.25, supl. 1, p. 7-11, 2002.
6	6	SANTOS, W. L. P. e SCHNETZLER, R. P. *Educação em Química: Compromisso com a Cidadania.* Ed. Unijuí, 2008.
7	6	CORRÊA, A.G.; ZUIN, V.G. *Química Verde: Fundamentos e Aplicações.* São Carlos: EduFScar, 2009.
8	5	LEAL, A.L.; MARQUES, C.A. O conhecimento químico e a questão ambiental na formação docente. *Química Nova na Escola*, n.29, p.30-33, 2008.
9	5	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. *Revista Virtual de Química*, v.6, n.1, p.73-84, 2014.
10	5	MARQUES, C. A. ; GONÇALVES, F.P.; ZAMPIRON, E.; COELHO, J.C. ; MELLO, L.C. ; OLIVEIRA, P.R.S. ;LINDEMANN, R.H. Visões de meio ambiente e suas implicações no ensino de química na escola média. *Química Nova*, v.30, n.8, p.2043-2052, 2007.

Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela mostra que sete obras se referem a pesquisa sobre QV, enquanto as outras abordam aspectos relacionados exclusivamente à educação.

A primeira corresponde ao livro de Anastas e Warner (1998), que é considerado um marco inicial dos estudos sobre QV, sendo fonte primária internacional. Na segunda posição encontra-se um artigo, que apresenta um breve histórico sobre a origem da QV, a descrição dos 12 princípios e formas de aplicação. É importante ressaltar que até o

primeiro semestre de 2017, esta era a referência mais citada entre os artigos investigados (BRANDÃO ET AL., 2018), indicando uma preferência pela leitura em língua portuguesa, mesmo não sendo um trabalho fundante da área.

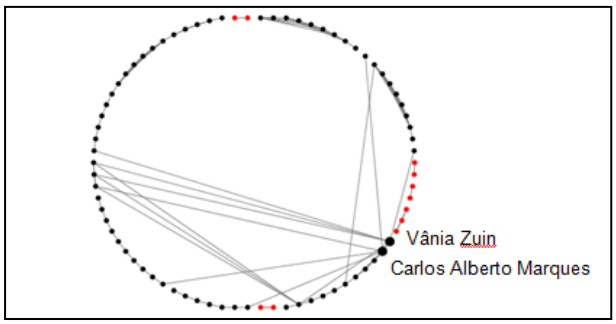
Os textos sobre educação indicados na tabela têm grande relevância para a prática de ensino e, possivelmente, por esse motivo ocuparam posições de destaque no conjunto de referências. O livro "Pedagogia do Oprimido" é um clássico dos cursos de licenciatura, pois questiona o ensino pautado na deposição de conteúdos e estimula a problematização e o desenvolvimento do pensamento crítico, discussão ainda atual e, por isso, constante nos artigos sobre ensino. As referências 4 e 6 têm como foco a abordagem CTS, indicando que essa perspectiva tem sido aplicada ao ensino de QV, e discutem sobre a importância dos atores sociais para o desenvolvimento científico e tecnológico e sua capacidade de tomar decisões.

Nas últimas posições têm-se o livro "Química Verde: fundamentos e aplicações", que aborda os princípios de QV em diversos processos químicos; e outros três artigos que apresentam estudos sobre a relação entre as questões ambientais e a formação docente. Em comparação com o estudo realizado por Brandão et al. (2018), notou-se um crescimento da utilização de referências que discutem sobre este tema, mostrando que o ensino de QV tem sido cada vez mais discutido nos cursos de licenciatura.

Após esse levantamento, passou-se a investigar sobre os autores dos artigos em questão e seus assuntos abordados, utilizando-se a análise de rede social.

A Figura 1 mostra o grafo de autores dos 31 artigos analisados no período de 2007 a 2017, no qual é possível notar os dois entes de maior relevância. Além disso, o desenho mostra alguns pontos em vermelho, que representam sub-redes desconexas, ou seja, conjunto de autores que não estabelecem relação com os demais e, por isso, apresentam baixa representatividade na área.

Figura 1 – Grafo dos autores dos artigos de QV investigados (2007-2017)



Fonte: BRANDÃO ET AL., 2018.

O grafo mostra que os dois autores de maior destaque são Carlos Alberto Marques e Vânia Zuin. O primeiro é licenciado e bacharel em Química e possui pós-doutorado em ensino de QV, com diversas publicações e projetos na área; Vânia Zuin também é licenciada e bacharel em Química, além de pós-doutora em pesquisas ambientais, ministrando disciplinas sobre QV e sendo muito atuante na área.

Os dois autores em destaque possuem as maiores medidas de centralidade como mostra a Tabela 2.

Tabela 2

Tabela 2 – Medidas de centralidade para os autores dos artigos sobre QV em análise.

Autor	**Centralidade de Grau de entrada**	**Centralidade de Intermediação**	**Instituição de Vínculo**
Carlos Alberto Marques	8	1058,750	Universidade Federal de Santa Catarina
Vânia Gomes Zuin	7	799,500	Universidade Federal de São Carlos

Fonte: BRANDÃO et al., 2018.

A centralidade de grau de entrada indica o número de relações que o autor estabelece com os demais da rede, isto é, quanto maior esse valor, maior é a capacidade de articulação desses autores na área investigada. A centralidade de intermediação mostra o quanto são capazes de interligar dois outros autores, ou seja, funciona como uma espécie de ponte facilitando a interação entre os demais.

Além disso, cada um desses professores aparece como autores de duas das referências mais citadas nos artigos (Tabela 1). Desta forma, esses resultados também são um indicativo de sua alta relevância na área.

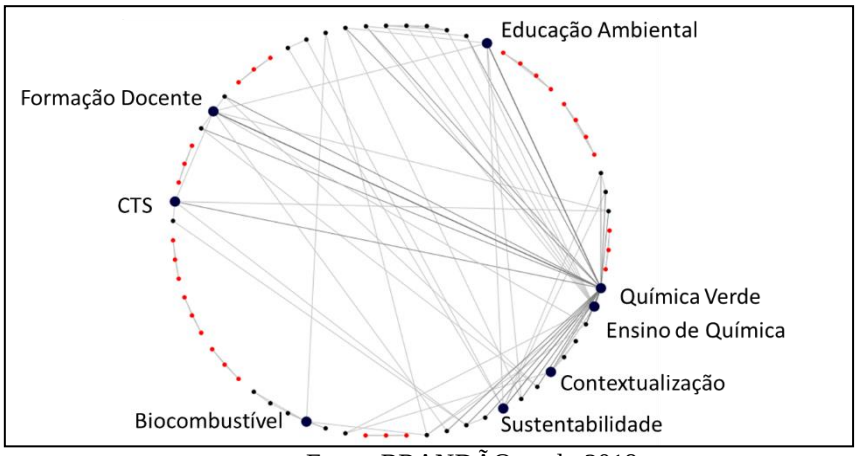
A atualização desses dados no período de 2017 a 2021 mostrou os mesmos resultados, indicando Carlos Alberto Marques e Vânia Zuin como referências da área no

cenário nacional. Notou-se, porém, um aumento de 50% do número de autores que publicam sobre o tema, levando-nos a crer no interesse cada vez maior em abordar conceitos de QV no ensino de Ciências.

A última análise desta pesquisa foi sobre as palavras-chave, com o intuito de identificar quais assuntos sobre o tema tem tido mais destaque. De modo a obter coerência, as palavras com o mesmo significado foram substituídas por um único termo, por exemplo "sustentabilidade ambiental" e "sustentabilidade". Ambas foram encontradas em artigos diferentes e, por terem significados equivalentes dentro do contexto estudado, foram unificadas para o termo "sustentabilidade".

A Figura 2 apresenta o grafo da rede social formada pelas palavras-chave dos artigos investigados, com destaque para as oito de maior relevância.

Figura 2 – Grafo de palavras-chave de publicações sobre o ensino de QV.



Fonte: BRANDÃO et al., 2018.

Assim como no grafo de autores, também é possível perceber algumas sub-redes desconexas em vermelho. Elas indicam grupos de palavras-chave que estabelecem relação apenas entre si e, logo, não apresentam boa relevância na área.

Os grafos mostram a relação estabelecida entre os termos. Os vértices que possuem os maiores valores de centralidade de grau de entrada, ou seja, mais arestas, são considerados os mais relevantes da pesquisa, pois estabelecem mais ligações com os outros entes da rede. Este fato é corroborado pelas medidas de centralidade de intermediação, cujos valores se encontram na Tabela 3.

Tabela 3 – Medidas de centralidade para as palavras-chave dos artigos sobre QV

Palavra-chave	Grau de entrada	Intermediação
Química Verde	20	434,433
Ensino de Química	11	249,800
Biocombustível	6	136,000
Sustentabilidade	6	71,000
Formação Docente	6	16,233
Contextualização	5	79,333
CTS	5	20,200
Educação Ambiental	5	5,500

Fonte: BRANDÃO et al., 2018. Adaptado.

Previsivelmente, os termos “Química Verde” e “Ensino de Química” alcançaram os maiores graus de entrada, visto que a investigação foi feita sobre QV e em revistas da área de Ensino.

Na terceira posição aparece o termo “Biocombustíveis”, que é um assunto muito relevante no cenário brasileiro por conta da posição de destaque do país em termos de produção e cujas discussões se encaminham por vários aspectos ambientais e econômicos, que vão desde o uso de matéria-prima renovável bem como a sua disponibilidade no Brasil, até aquelas sobre os chamados combustíveis limpos.

Entretanto, é interessante destacar que ao atualizar os dados dessa pesquisa, esse termo perdeu destaque para o acrônimo CTS, podendo ser um indício de que essa abordagem de ensino tem sido muito utilizada no ensino de QV.

Na sequência, verificou-se que o termo “Sustentabilidade” tem grande relevância na rede, indicando ser um tema muito explorado dentro do processo de ensino de QV e que tem sido discutido em termos de gestão ambiental e de responsabilidade social, de produção de conhecimento e da formação de recursos humanos nos cursos de ensino superior.

No entanto, esse assunto também perdeu sua posição para a “Experimentação” na atualização dos dados, termo este que sequer teve destaque na primeira pesquisa. Levando-se em consideração o aspecto prático inerente ao estudo da Química, talvez seja possível compreender o aumento da relevância dessa palavra-chave nos últimos anos por estar sendo utilizada como porta de entrada para o ensino de QV.

Além disso, a relevância do termo “Formação Docente” pode ser entendida como o reconhecimento da importância de incluir os conceitos de QV na formação dos professores de Química. De acordo com Zandonai et al. (2014), o processo de introdução

da QV tem ocorrido especialmente no ensino superior; embora, para Almeida et al. (2019), poucos são os cursos de licenciatura que oferecem disciplinas sobre o tema.

A palavra “contextualização” teve destaque. Este fato também pode estar relacionado ao enfoque CTS. De acordo com Coelho e Marques (2007), a inserção de temas sociais para a contextualização do conteúdo contribui para desvelar a realidade e favorece uma leitura crítica de mundo, podendo promover um ensino de Química voltado para a cidadania.

Interessante destacar que nos últimos anos o termo “contextualização” não apareceu como um dos mais relevantes, porém a palavra “interdisciplinaridade” despontou como assunto de interesse nos artigos, fato que também pode estar ligado a abordagem CTS, visto que é considerado um campo interdisciplinar, à medida em que se organiza em torno de relações entre o contexto social e os processos que envolvem o uso e a manipulação da natureza (CUTCLIFFE, 2003).

Por fim, tem-se o termo “Educação Ambiental” que nos últimos anos aumentou a sua relevância na rede. Isto pode estar relacionado ao fato de essa discussão aparecer, de modo geral, muito vinculada à formação docente, no sentido de identificar e problematizar o que se tem discutido sobre isso nos cursos de licenciatura; e sobre o desenvolvimento sustentável, na perspectiva de pensar sobre os rumos dessa educação no contexto atual.

Sendo assim, a revisão mostrou que o número de publicações sobre QV vem crescendo ao longo dos anos, tendo Paul Anastas e John Warner como referenciais primários fundamentais e destaque para os pesquisadores Vânia Zuin e Carlos Alberto Marques, que se mostraram referenciais de alta relevância no cenário nacional, sendo autores de obras importantes para a fundamentação teórica na área.

Ademais, constatou-se uma tendência de discussão do tema no contexto da educação ambiental, com ênfase na sustentabilidade e produção de biocombustíveis, além de se utilizar a experimentação como porta de entrada. Inclusive, o termo “Experimentação” esteve em evidência na atualização dos dados da pesquisa, bem como “CTS”, indicando que publicações mais atuais sobre o ensino de QV têm se utilizado do enfoque na experimentação e abordagem de ensino CTS.

1.2- Mapeamento sobre o ensino de Química no ensino CTS brasileiro

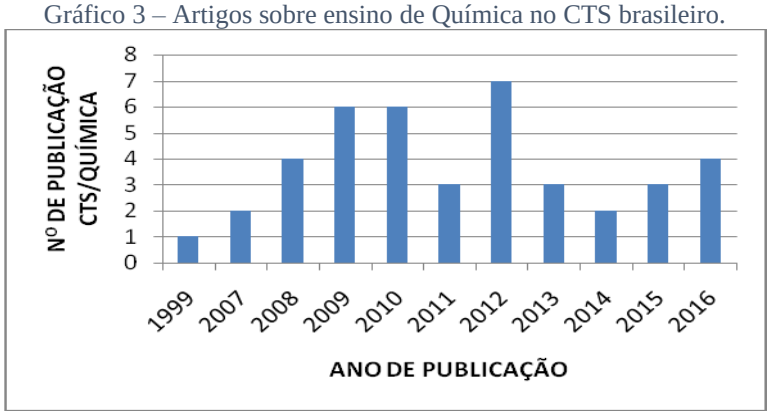
Essa investigação foi feita em publicações nacionais obtidas no banco de dados do CEFET/RJ, organizado pelo grupo de pesquisa CTS e Educação. Este banco de dados é constituído de artigos que contém o acrônimo CTS, bem como possíveis derivações (ciência, tecnologia e sociedade; ciência e tecnologia e sociedade; ciência-tecnologia-sociedade), nas palavras-chave, títulos e/ou resumos. Todos os artigos foram publicados em revistas com Qualis CAPES A1, A2 e B1 (triênio 2010-2012), como citado anteriormente.

Desta forma, com o objetivo de mapear palavras-chave, autores e obras mais citadas sobre o ensino de Química com enfoque CTS no Brasil, foi realizada uma busca nesse banco de dados, a partir dos termos “ensino de química”, “química” e “químico”, que resultou em 55 artigos pertencentes ao universo de 31 periódicos da área de ensino e publicados entre 1996 e 2018.

Os resultados dessa pesquisa foram publicados por Bouzon et al. (2018), com dados até o ano de 2016 e atualizados por Pinto (2021) até o ano 2018.

O estudo inicial mostrou que as primeiras publicações se iniciaram em 1999, havendo uma pausa até 2007, quando novos artigos foram identificados (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Artigos sobre ensino de Química no CTS brasileiro.



Fonte: BOUZON et al., 2018

Notou-se que a mudança desse número ocorreu de modo irregular ao longo dos anos, com destaque inicial para os anos de 2009 e 2010. Isto pode ter sido motivado pelas pesquisas realizadas após a reforma curricular do ensino médio, ocorrida no final da década de 1990, que adotou a interdisciplinaridade e a contextualização, elementos dos

currículos com ênfase em CTS (SANTOS e MORTIMER, 2002), como estruturadores do currículo do ensino médio (DOMINGUES, TOSCHI e OLIVEIRA, 2000).

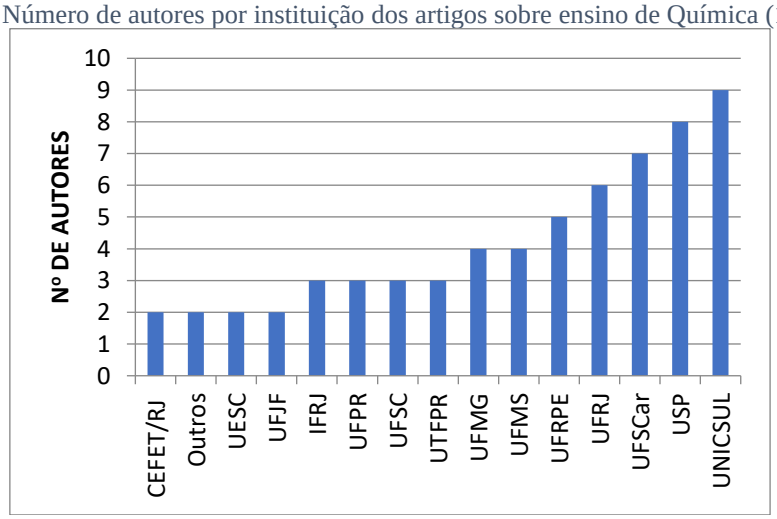
De acordo com a atualização de Pinto (2021), observou-se um aumento expressivo até o ano de 2018 que pode estar associado a ocorrência em 2015, na UFRJ, do VI Simpósio Nacional de Ciência, Tecnologia e Sociedade, considerado um dos eventos mais importantes da área.

A investigação também mostrou que os periódicos selecionados apresentaram uma média de três publicações, com ênfase para a revista Química Nova na Escola que contou com sete artigos publicados até 2016 e onze até 2018 (PINTO et al., 2021); observação atribuída ao fato de ser uma revista especializada em ensino de Química.

Ao analisar o vínculo institucional dos autores responsáveis pelos textos, foi possível constatar que Universidade Cruzeiro do Sul (UNICSUL), USP e Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) tiveram muito destaque (Gráfico 4), provavelmente devido à existência consolidada de grupos de pesquisa na área investigada.

De acordo com Pinto (2021), esse perfil não se alterou até o ano de 2018.

Gráfico 4 – Número de autores por instituição dos artigos sobre ensino de Química (1996-2018).



Fonte: BOUZON et al.; 2018

A UNICSUL possui desde 2006 o Núcleo Interdisciplinar de Estudos e Pesquisa em CTS (NIEPCTS), cujos objetivos são desenvolver estudos e pesquisas relacionadas à abordagem CTS no currículo, ensino e na formação de professores. Já a USP apresenta alguns grupos como o Grupo de Pesquisa em Educação Química (GEPEQ), no qual alguns professores atuam em linhas de pesquisa com investigação na perspectiva CTS,

além do Centro de Estudos CTS+i (Ciência Tecnologia Sociedade Inovação), dedicado aos estudos sociais da ciência e da tecnologia e do Laboratório de História das Ciências, Tecnologia e Sociedade (LABCITE), cuja missão é fomentar o conhecimento na área de história das ciências. O mesmo pode ser percebido na UFSCar, que possui um Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Sociedade (PPGCTS), além de grupos de pesquisa em CTS no Programa de Pós-Graduação em Educação (PPGE) e no Centro de Ciências Agrárias (grupo de pesquisa em ciências e matemática no contexto CTS).

Além disso, foi realizada uma pesquisa sobre as referências bibliográficas mais citadas em todos os textos analisados, com o objetivo de investigar sobre a fundamentação teórica utilizada pelos autores para embasamento de seus trabalhos no ensino de Química com enfoque CTS. A Tabela 4 mostra esses resultados atualizados até o ano de 2018, visto que não houve mudança para as 5 primeiras obras mais citadas.

Tabela 4 – Referências mais citadas sobre o ensino de Química nos artigos analisados

Rank	Número de citações	Referência
1	22	SANTOS, W. L. P. e SCHNETZLER, R. P. *Educação em Química: compromisso com a cidadania.* Ijuí: Unijuí, 2008.
2	19	SANTOS, W. L. P. e MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 2, n. 2, p. 110-132, 2002.
3	14	AULER, D. e DELIZOICOV, D. Alfabetização científico-tecnológica para quê? *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 3, n. 2, p.122-134, 2001.
4	11	ACEVEDO DÍAZ, J. A. Cambiando la práctica docente em la enseñanza de las ciencias a través de CTS. *Borrador, Huelva*, v.13, p. 26-30, 1996.
5	9	AULER, D. Alfabetização científico-tecnológica: um novo "paradigma"? *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 5, n. 1, p. 68-83, 2003.
6	9	LINSINGEN, I. Perspectiva educacional CTS: aspectos de um campo em consolidação na América Latina. *Ciência & Ensino*, Campinas, v. 1, número especial, p.1-17, 2007.
7	8	DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. Ensino de Ciências: fundamentos e métodos. São Paulo: *Cortez*, 2002. 364p.
8	8	PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. Ciência, Tecnologia e Sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do Ensino Médio. *Ciência & Educação*, v. 13, n. 1, p. 71-84, 2007.

Fonte: PINTO; 2021

Dentre as obras mais citadas, tem-se o livro "Educação em Química: compromisso com a cidadania", de Santos e Schnetzeler (2008), na primeira colocação. Esta é uma referência que apresenta o ensino de Química com o objetivo de formar cidadãos capazes

de tomar decisões em sociedade e contém um capítulo dedicado ao ensino CTS sendo, portanto, uma obra de relevância para a área investigada.

"Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira", de Santos e Mortimer (2002), aparece em segundo lugar. O artigo apresenta "uma análise crítica sobre pressupostos de currículos de ensino de ciências com ênfase em CTS, de modo a fornecer subsídios para a elaboração de novos modelos curriculares que alcancem os objetivos educacionais desejados com a abordagem CTS" (BOUZON et al., 2018, p.221).

A terceira obra mais citada foi "Alfabetização científico-tecnológica para quê?", de Auler e Delizoicov (2001). O texto discute sobre os mitos da ciência e trata da polissemia do termo "alfabetização científico-tecnológica", apresentando duas perspectivas sobre o assunto, uma mais ingênua chamada de reducionista, na qual não há problematização da ciência, e a perspectiva ampliada que considera os conceitos científicos como meios para a compreensão dos estudantes.

O autor Decio Auler também contribuiu com a quinta referência, que discute mais profundamente sobre a perspectiva ampliada da alfabetização científico-tecnológica, além de sugerir o uso da abordagem temática em lugar da abordagem conceitual.

Dentre as referências de origem estrangeira, tem-se apenas uma na quarta posição: "Cambiando la práctica docente en la enseñanza de las ciencias a través de CTS", de Acevedo Díaz (1996), que apresenta uma discussão sobre a prática docente na abordagem CTS.

O artigo "Perspectiva educacional CTS: aspectos de um campo em consolidação na América Latina" fala sobre a relevância dos estudos de ciência, tecnologia e sociedade em todos os campos do saber e segmentos da Educação, privilegiando currículos com enfoque na contextualização da abordagem CTS.

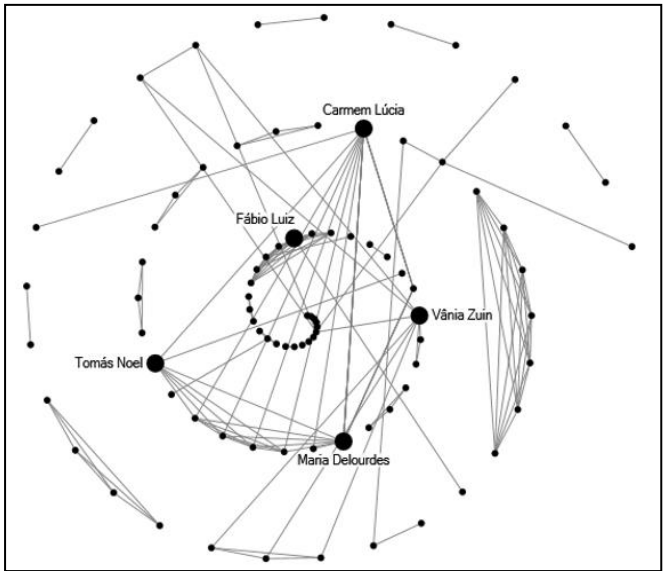
Por fim, têm-se o livro "Ensino de Ciências: fundamentos e métodos" e o artigo "Ciência, Tecnologia e Sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do Ensino Médio". A primeira obra é destinada aos professores de ciências do ensino fundamental e incentiva a articulação dos conhecimentos científicos com situações significativas que contribuam para a formação cultural dos estudantes. Enquanto que o artigo problematiza sobre o ensino de ciências no ensino médio a partir do contexto

científico-tecnológico e social, levando em consideração as orientações presentes nas bases legais da Educação Nacional.

Na sequência da pesquisa, avaliou-se também o potencial das relações estabelecidas entre os autores dos textos, utilizando-se a análise de redes sociais, assim como no mapeamento de periódicos nacionais sobre QV. Além disso, foram analisadas as palavras-chave dos artigos, com o intuito de identificar os assuntos mais abordados na área investigada.

A Figura 3 apresenta o grafo da rede com os cinco autores mais relevantes em destaque.

Figura 3 – Grafo de autores dos artigos investigados sobre ensino de Química no CTS.



Fonte: BOUZON et al., 2018.

A investigação mostrou que ocorre uma endogenia institucional, visto que, três dos autores mais relevantes são vinculados a UNICSUL (Carmem Lúcia Amaral, Maria Delourdes e Tomás Noel), ou seja, são pesquisadores que priorizam publicações em conjunto. Isso resulta em relevância na área, mas baixo poder de comunicação entre instituições diferentes, fato evidenciado pelo alto número de sub-redes desconexas no grafo.

Além disso, também foi possível notar alto número de coautores em muitos artigos, o que favoreceu maiores valores de grau de entrada para os destacados, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Medidas de centralidade para os autores dos artigos sobre ensino de Química no CTS.

Autor	Grau de Entrada	Instituição de Vínculo
Carmem Lúcia Costa Amaral	9	Universidade Cruzeiro do Sul
Vânia Gomes Zuin	8	Universidade Federal de São Carlos
Maria Delourdes Maciel	8	Universidade Cruzeiro do Sul
Fábio Luiz de Souza	7	Universidade de São Paulo
Tomás Noel Herrera Vasconcelos	7	Universidade Cruzeiro do Sul

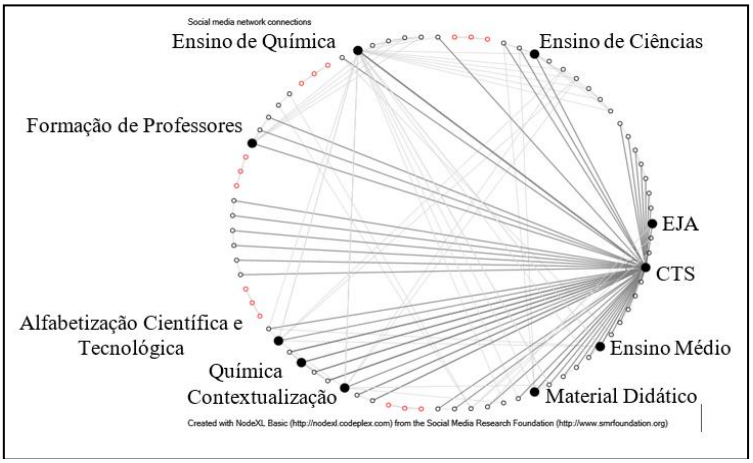
Fonte: BOUZON et al., 2018.

Tem-se mais dois autores de destaque das universidades UFSCar e USP, mostrando uma concentração de pesquisadores da área no estado de São Paulo.

Entretanto, Pinto (2021) indica, na atualização dos dados até 2018, o aparecimento do autor José Claudio Del Pino entre os cinco mais relevantes e único representante da região Sul, atuante na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

No caso da análise das palavras-chave, a Figura 4 apresenta o grafo com os dez vértices de maior relevância na rede.

Figura 4 – Grafo de palavras-chave de artigos sobre o ensino de Química no CTS.



Fonte: BOUZON et al., 2018.

A rede possui um conjunto de vértices em vermelho, que correspondem às sub-redes desconexas, isto é, aquelas cujas palavras-chave só se relacionam entre si, não estabelecendo nenhuma relação com os demais entes da rede. Isso indica que são assuntos com baixa relevância dentro da área investigada. Por outro lado, é possível observar que os termos destacados correspondem a assuntos muito discutidos na literatura sobre o ensino de Química no ensino CTS.

Nesse sentido, as palavras-chave “Ensino de Química” e “CTS” apareceram como as mais relevantes, visto que foram utilizadas como buscadores da pesquisa. Os demais termos em destaque apresentam suas medidas de centralidade de grau na Tabela 6.

Tabela 6 – Medidas de centralidade para as palavras-chave dos artigos sobre ensino de Química.

Palavra-chave	Centralidade de Grau de Entrada	Centralidade de Intermediação
CTS	49	1687,233
Ensino de Química	17	161,067
Ensino de Ciência	8	95,967
Formação de Professores	7	232,000
Contextualização	7	54,467
Alfabetização Científica e Tecnológica	7	31,967
EJA	6	32,333
Ensino Médio	5	0,667
Química	4	0,000

Fonte: BOUZON et al., 2018. Adaptado.

Os dados mostram que “Ensino de Ciência” e “Formação de Professores” apresentam os maiores graus de centralidade de intermediação. Isso mostra o quanto esses assuntos são importantes para o fluxo de informações, pois aparecem em artigos que abordam temáticas variadas, ou seja, funcionam como pontes entre sub-redes diferentes.

Os termos “Contextualização” e “Alfabetização científica e tecnológica” apareceram com destaque nessa rede, indicando as suas relevâncias na abordagem de ensino CTS.

Carvalho et al. (2021, p.6) relatam em artigo sobre a contextualização no ensino CTS que essa pretensão “deve refletir as questões sócio-científicas que estão imbricadas à realidade em que o estudante faça parte”. Chrispino (2017) corrobora com essa ideia ao afirmar que a contextualização é essencial para a perspectiva CTS, já que se propõe a trabalhar com a realidade, ou seja, pode contribuir para que os estudantes possam modificá-la por meio de suas reflexões e decisões.

Nesse sentido, Santos (2007, p.482) ressalta que o objetivo do ensino CTS no ensino de ciências é “promover a educação científica e tecnológica dos cidadãos, auxiliando o aluno a construir conhecimentos, habilidades e valores necessários para tomar decisões responsáveis sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade”.

Na sequência, a análise dos dados mostra ainda outras duas palavras relacionadas ao segmento da educação básica no qual a Química se apresenta como disciplina de

estudo: “EJA” e “Ensino Médio”. Isso pode ser indício de que os professores têm buscado apoio nos pressupostos da abordagem CTS nas aulas de Química.

Finalmente, ao comparar esses resultados com aqueles obtidos por Pinto (2021) na atualização dos artigos até 2018, observou-se a relevância do termo “Experimentação”, com destaque para seu alto grau de centralidade de intermediação. Ou seja, é um ente que interliga vários outros na rede, mostrando que a experimentação tem sido empregada no ensino de Química a partir da perspectiva CTS, e está sendo relacionada a outros diversos assuntos da temática pesquisada.

Sendo assim, a pesquisa realizada apontou as obras mais citadas nos artigos e que representam aporte teórico de grande relevância sobre o tema pesquisado. Além disso, é fundamental ressaltar os autores Wildson Santos e Décio Auler como referenciais teóricos importantes no cenário brasileiro, visto que são os principais autores das obras mais citadas. Em contrapartida, observou-se como referência internacional de autoria de Acevedo Diaz, que é considerado fonte primária na área investigada.

Foi possível identificar também um grupo de pesquisadores brasileiros que mais publicam na área, com destaque para Carmem Lúcia Amaral, Maria Delourdes e Tomás Noel da UNICSUL.

E, por fim, verificou-se dentre os assuntos mais abordados nos artigos, que o ensino CTS tem sido tema de estudo na formação docente dos professores de Química que, por sua vez, têm se utilizado dessa abordagem para promover a alfabetização científica e tecnológica, principalmente no ensino médio, com enfoque cada vez maior para as atividades experimentais.

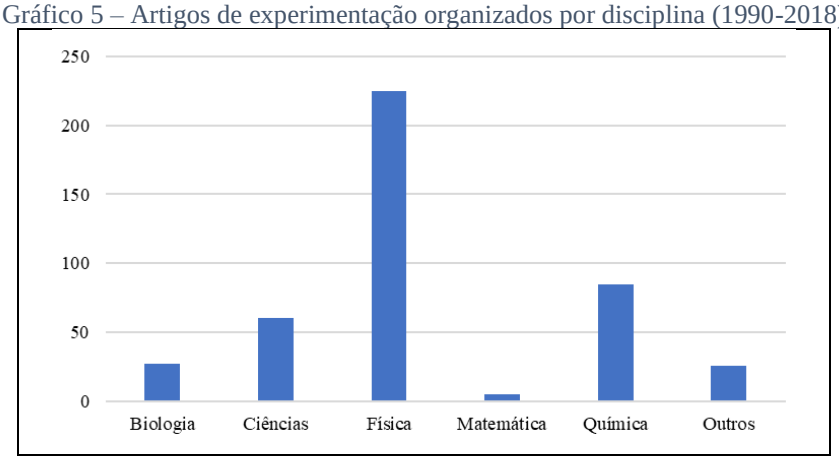
1.3- Mapeamento sobre experimentação no ensino de Química em publicações nacionais

Essa pesquisa foi realizada em artigos que continham o termo “laboratório” ou “experimentação” e seus correlatos, como “experimento”, “experimental” e “experimentos” em títulos, palavras-chaves e/ou resumos.

A busca resultou na obtenção de 429 artigos publicados no período de 1990 ao primeiro semestre de 2018, no universo de 260 periódicos nacionais.

Inicialmente, esse material foi organizado levando-se em consideração a disciplina na qual a experimentação havia sido empregada (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Artigos de experimentação organizados por disciplina (1990-2018)



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise dos dados mostrou que essa temática é muito discutida, principalmente, nas disciplinas de Física e Química, com destaque para a primeira. Essa constatação encontra apoio no mapeamento realizado por Souza, Cabral e Queiroz (2019) a respeito de teses e dissertações sobre experimentação, nas áreas de Educação, Química e Ensino de Ciências da Capes, no período de 2004 a 2013. O estudo indicou que os programas de pós-graduação em Física são os mais antigos, justificando sua maior produtividade ao longo do tempo. Além disso, a pesquisa apontou que o ensino médio é o segmento mais investigado e que a experimentação é comumente discutida enquanto estratégia didática.

Por outro lado, a Química também teve um resultado de publicações relevante, totalizando 82 artigos, que foram analisados visando a identificar no cenário nacional as referências bibliográficas mais citadas, os autores de maior destaque e os assuntos mais abordados no contexto da experimentação química.

Desta forma, mapeou-se o número de publicações por ano, cujos resultados são mostrados no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Artigos de experimentação em Química publicados por ano.



Fonte: Elaborado pela autora.

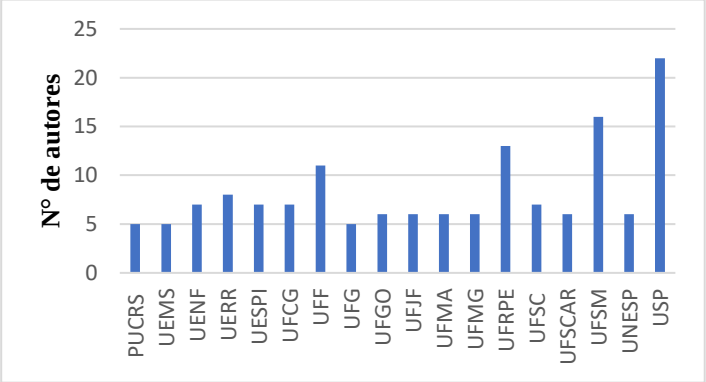
É possível verificar que as publicações tiveram início na década de 2000, o que pode ter relação com a reforma curricular ocorrida no final dos anos 1990, desde a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional até a implementação de parâmetros, diretrizes e orientações curriculares nacionais, que foram pautadas na prescrição de competências por áreas do conhecimento e podem ter impulsionado esse movimento. Além disso, nota-se que a partir de 2010 iniciou-se um crescimento modesto até o ano de 2017, no qual a produção começou a se tornar mais representativa.

O ano de 2018 não apresenta efetivamente um decréscimo do número de publicações, visto que a pesquisa foi realizada apenas para o primeiro semestre.

Em relação aos periódicos de publicação, identificou-se que as revistas *Experiências em Ensino de Ciências* e *Química Nova na Escola* foram as que mais se destacaram apresentando o maior número de publicações. A primeira é uma revista eletrônica dedicada exclusivamente ao ensino de ciências, vinculada a Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), enquanto a segunda é uma revista cujo escopo é voltado para o ensino de Química e conta com uma seção específica sobre experimentação no ensino de Química.

A análise sobre as instituições de vínculo dos autores dos artigos pesquisados mostrou que a maior parte desses autores se concentra no eixo Sudeste-Sul, com destaque para a USP, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e Universidade Federal Fluminense (UFF), como pode ser verificado no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Número de autores por instituição dos artigos sobre experimentação.



Fonte: Elaborado pela autora.

Importante ressaltar, dentre esses, a contribuição da UFRPE, representante da região Nordeste e que possui um número relevante de docentes interessados em pesquisar sobre experimentação em química. A instituição conta com um programa de pós-graduação em ensino de Ciências desde 2010, fato que pode ter contribuído para o destaque dessa análise.

Outro aspecto investigado nesse mapeamento foram as obras que os autores mais se utilizaram para embasar seus textos (Tabela 7).

Tabela 7 – Referências mais citadas nos artigos sobre experimentação.

Posição	Número de citações	Referências
1	18	GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. *Química Nova na Escola*, v.10, n.2, p. 43-49, 1999.
2	15	GUIMARÃES, C.C. Experimentação no ensino médio: caminhos e descaminhos rumo à aprendizagem significativa. *Química Nova na Escola*, v.31, n. 3, p. 198-202, 2009.
3	8	FREIRE, P. Pedagogia do oprimido: saberes necessários à prática educativa. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1997.
4	8	DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J.A.; PERNAMBUCO, M.M.C.A. *Ensino de ciências: fundamentos e métodos.* 3 ed. São Paulo: Cortez, 2002.
5	6	HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. Enseñanza de las Ciencias, v. 12, n. 3, p. 299-313, 1994.
6	6	SUART, R.C.; MARCONDES, M.E.R. A manifestação de habilidades cognitivas em atividades experimentais investigativas no ensino médio de química. *Ciências & Cognição*, v. 14, n.1, p. 50-74, 2009.
7	6	SILVA, L.H.A.; ZANON, L.B. A *Experimentação no Ensino de Ciências*. In: SCHNETZLER, R. P. e ARAGÃO, R. M. R. DE. Ensino de Ciências: Fundamentos e Abordagens. Campinas: Capes; UNIMEP, 120-153.
8	5	FRANCISCO JR., W.E.; FERREIRA, L.H.; HARTWIG, D.R. Experimentação Problematizadora: fundamentos teóricos e práticos para aplicação em salas de aula de ciências. *Química Nova na Escola*, n. 30, p. 34-41, 2008.

Fonte: Elaborado pela autora.

Dentre as oito obras mais citadas, a única que não fala especificamente sobre o ensino de Ciências/Química é o livro *Pedagogia do Oprimido,* de Paulo Freire. Como visto anteriormente, é considerado um clássico dos cursos de licenciatura e traz uma crítica a massificação dos conhecimentos com o fim em si mesmos, sendo muito utilizado para fundamentação teórica.

Nesse sentido, a oitava referência mais citada aborda a experimentação problematizadora, que é pautada nos pressupostos da teoria pedagógico-crítica de Paulo Freire. Ela defende que este tipo de experimentação promove a apreensão pessoal dos significados e favorece o desenvolvimento da curiosidade epistemológica.

Na primeira posição encontra-se um artigo que discute o papel da experimentação no ensino de Ciências embasado em pressupostos filosóficos, sociológicos e psicológicos, além de defender o uso da experimentação por simulação.

Em seguida, aparece um outro artigo que relata uma experiência em laboratório com uma turma de primeira série do ensino médio, pautada na aprendizagem significativa de David Ausubel.

O livro *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos* é a quarta obra mais citada nos artigos investigados e é de autoria de três professores de Física. Não discute exatamente aspectos da experimentação, mas apresenta exemplos de atividades de sala para professores de Ciências da Natureza, dentre elas, a dinâmica didático-pedagógica dos três momentos pedagógicos, muito utilizada em experimentação investigativa e problematizadora.

Essa abordagem é pautada na perspectiva Freireana e se caracteriza da seguinte forma: problematização inicial, na qual os estudantes apresentam seus pensamentos a respeito de situações reais; organização do conhecimento, que é o momento em que estudam os conhecimentos científicos para compreender a problematização inicial; e aplicação do conhecimento, em que analisam sistematicamente o conhecimento incorporado pelo aluno (MUENCHEN e DELIZOICOV, 2014).

Na sequência, o artigo de Hodson (1994) mostra uma revisão crítica sobre as contribuições da experimentação no ensino de ciências e destaca a importância de interrelacionar aprendizagem da ciência, aprendizagem da natureza da ciência e experimentação científica, embora sejam orientações distintas.

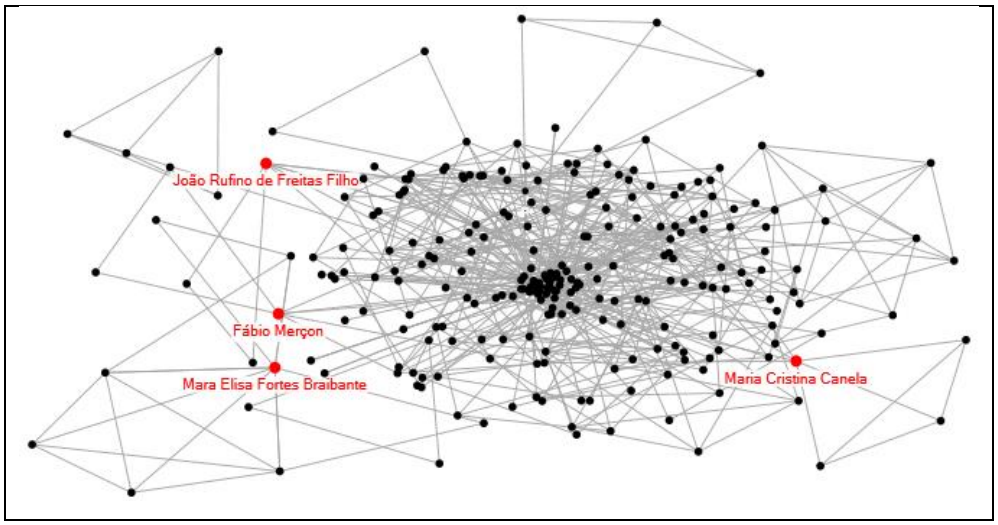
A sexta referência mais citada é um artigo que discute sobre experimentação investigativa como estratégia para estimular a participação ativa dos alunos. Defende que as características desse tipo de atividade prática desenvolvem habilidades cognitivas importantes para a construção do conhecimento científico e a formação cidadã.

Finalmente têm-se um capítulo de livro (*A Experimentação no Ensino de Ciências*), que traz uma reflexão a respeito da falta de clareza sobre o papel da experimentação na aprendizagem dos alunos e critica a sua realização como atividade motivadora, afirmando que isso não garante o comprometimento dos estudantes. Além disso, a obra defende o emprego dessas atividades de modo mais reflexivo e menos prático.

A próxima etapa do mapeamento foi a realização da análise de rede social de autores e palavras-chave dos artigos investigados.

A primeira análise mostrou os autores de maior relevância dentro da rede, como pode ser verificado no grafo da Figura 5.

Figura 5 – Grafo de autores de artigos sobre experimentação química.



Fonte: Elaborado pela autora.

O grafo apresenta em vermelho os quatro autores que mais se destacaram na rede. As medidas de centralidade de grau se encontram na Tabela 8 e confirmam esse resultado.

Tabela 8 – Medidas de centralidade para os autores dos artigos sobre experimentação.

Autores	**Centralidade de Grau de Entrada**	**Centralidade de Intermediação**
João Rufino de Freitas Filho	7	21,000

Maria Cristina Canela	7	12,000
Fabio Merçon	7	10,000
Mara Elisa Fortes Braibante	7	8,500

Fonte: Elaborado pela autora.

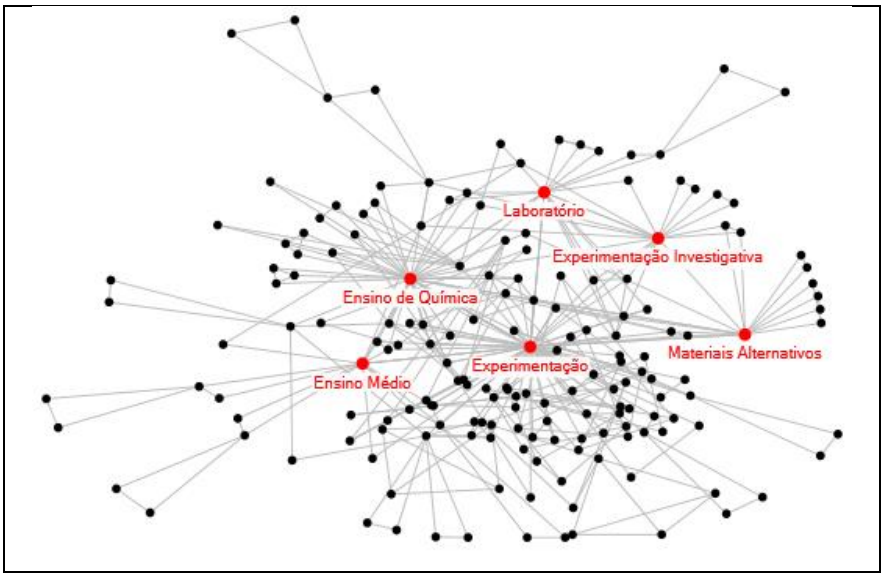
A Tabela mostra que todos os entes destacados apresentaram o mesmo valor de centralidade de grau de entrada, ou seja, estabeleceram o mesmo número de relações na rede, indicando a valorização de trabalhos escritos em parceria com outros autores. Entretanto, os dados mostram que a centralidade de intermediação é o diferencial entre esses autores.

João Rufino de Freitas Filho é licenciado e doutor em Química, professor titular da UFRPE, com forte atuação no ensino de Química, o que justifica ser elo forte entre outros autores na rede. Maria Cristina Canela é doutora em Química e professora da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), atua em diversas linhas de pesquisa, dentre elas, ensino de Química por meio da Química Ambiental utilizando tecnologias da informação e da comunicação.

Em seguida, encontram-se os professores Fábio Merçon e Mara Elisa Fortes. O primeiro é doutor em Engenharia Química e leciona na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), onde atua em uma linha de pesquisa sobre ensino de Química com ênfase no desenvolvimento de atividades experimentais e material didático na educação básica, enquanto a professora Mara Elisa é licenciada e doutora em Química, pesquisadora de processos de ensino e aprendizagem na escola, na universidade e no laboratório de pesquisa, com vínculo institucional na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Finalmente, foi realizada a análise de rede social das palavras-chave dos artigos investigados, que gerou o grafo apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Grafo de palavras-chave de artigos sobre experimentação química.



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir do grafo é possível identificar os termos de maior relevância na rede, que estão destacados em vermelho, e cujos valores de centralidade de grau se encontram na Tabela 9.

Tabela 9 – Medidas de centralidade para as palavras-chave dos artigos de experimentação.

Palavras-chave	**Centralidade de Grau de Entrada**	**Centralidade de Intermediação**
Experimentação	56	4585,354
Ensino de Química	38	2625,869
Laboratório	18	1078,594
Experimentação Investigativa	18	1055,858
Materiais Alternativos	16	880,048
Ensino Médio	14	1169,550

Fonte: Elaborado pela autora.

A análise dos dados indicou que as três palavras de maior relevância são decorrentes da busca inicial dos artigos. “Experimentação” e “Laboratório” foram dois dos termos usados como buscadores no universo de artigos publicados na área de Ensino. Ademais, também foi identificado que grande parte dessas atividades é voltada para os alunos do ensino médio.

É interessante destacar o quanto as atividades experimentais estão vinculadas à existência de um espaço físico de laboratório. Entretanto, em alguns textos foi possível perceber o incentivo ao desenvolvimento de práticas em ambiente virtual, por exemplo.

As palavras seguintes da Tabela mostraram o que tem tido mais destaque neste tema. Desta forma, é possível perceber que a experimentação investigativa tem sido muito abordada, principalmente por meio da abordagem dos três momentos pedagógicos, que é pautada nos pressupostos de Paulo Freire e prioriza o contexto local dos estudantes e seus conhecimentos prévios.

Além disso, notou-se que o uso de materiais alternativos tem sido cada vez mais frequente, tanto no sentido de auxiliar os professores que têm condições de trabalho desfavoráveis, quanto no sentido de reduzir o custo e atender práticas mais sustentáveis.

Sendo assim, a investigação mostrou que as pesquisas sobre experimentação em química têm tido maior concentração de publicações nas regiões Sul e Sudeste; porém a rede social gerada a partir dos artigos indicou o autor João Rufino, representante do Nordeste na UFRPE como o mais relevante. Foi possível identificar que esses autores têm trabalhado com a abordagem investigativa, destacando-se as obras de referência de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002) e Francisco Jr., Ferreira e Hartwig (2008). Finalmente, observou-se que os artigos tiveram foco em atividades experimentais voltadas para o ensino médio e com o uso de recursos alternativos.

2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1- O contexto da Química Verde

Em virtude da intervenção humana nos processos naturais, iniciou-se uma nova era geológica chamada de Antropoceno, que "se caracteriza pela capacidade de destruição do ser humano, acelerando o desaparecimento natural das espécies" (BOFF, 2012, p.21). Nesse período da história da Terra, o desenvolvimento de processos industriais e a obtenção de produtos químicos vêm sendo fundamentais para a evolução da humanidade, porém têm resultado em prejuízo para o próprio homem e o ambiente que o cerca (EPICOCO, OLTRA e SAINT JEAN, 2013).

Sobre essa relação, Machado (2004) aponta diferentes posturas para os possíveis elos existentes especificamente entre Química e Ambiente, que podem contribuir para uma melhor compreensão.

- Química do ambiente: envolve a existência das substâncias químicas na natureza, seus processos de formação e comportamento;
- Química no ambiente: mais relacionada às substâncias lançadas na natureza pela atividade humana;
- Química para o ambiente: envolve o esforço para a conservação da natureza, seja no viés da remediação – perspectiva da Química Ambiental –, seja no viés da prevenção – perspectiva da QV.

Esta última surgiu na década de 1990, a partir de iniciativas do setor industrial, em meio aos esforços de realizar intervenções que estabelecessem uma nova forma de relação com o meio ambiente.

Dentre as ações desenvolvidas, destaca-se a criação da Lei de Prevenção à Poluição nos EUA, que incentivou as empresas a reduzirem a geração de resíduos, sinalizando o interesse do governo e da indústria química em cooperar (FARIAS e FÁVARO, 2011; EPICOCO, OLTRA e SAINT JEAN, 2014). Esse esforço resultou, pouco tempo depois, na promoção de um programa, pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA, para financiar projetos de pesquisa que propusessem rotas sintéticas menos poluentes (ANASTAS e BREEN, 1997).

Nesse período, o termo “Química Verde” ganhou força nos EUA e se consolidou, gerando uma mudança de atitude na área que resultou em uma Química mais comprometida com a qualidade ambiental (MARQUES ET AL, 2020).

Assim, a QV tem por essência o desenvolvimento de processos produtivos que gerem o mínimo de risco/prejuízo ao meio ambiente. De acordo com Machado (2004, p.59), QV é “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”. No entanto, destaca a existência de outras designações como Química Sustentável e QV Sustentável, que são variantes que surgiram com o objetivo de vincular a Química à rota do desenvolvimento sustentável. Na Europa, por exemplo, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) promoveu atividades com o mesmo propósito da QV, porém com o nome de Química Sustentável, assumindo sua relação com as metas do DS (MARQUES ET AL, 2020).

Lenardão et al. (2003) chama a atenção para outras denominações relacionadas à redução do impacto das atividades químicas, como: química limpa, química ambientalmente benigna e química autossustentável e traduziu a definição de QV, originalmente proposta por Anastas e Warner (1998), como “o desenho, desenvolvimento e implementação de produtos químicos e processos para reduzir ou eliminar o uso ou geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente” (LENARDÃO et al., 2003, p.124).

A QV concebida como técnica foi, então, sistematizada em um conjunto de doze princípios elaborados por Anastas e Warner (1998):

(1) Prevenir a formação de resíduos;

(2) Economia atômica;

(3) Síntese de produtos químicos menos perigosos;

(4) Design de produtos químicos mais seguros;

(5) Solventes e auxiliares mais seguros;

(6) *Design* para a eficiência energética;

(7) Uso de matéria-prima renovável;

(8) Reduzir a formação de derivados;

(9) Catálise;

(10) Desenho para a degradação;

(11) Análise em tempo real para a prevenção da poluição e
(12) Química inerentemente mais segura para a prevenção de acidentes.

Esses princípios são uma categorização dos aspectos químicos fundamentais para alcançar metas de geração de produtos e processos mais seguros e têm sido usados como diretrizes e critérios de *design* pelos cientistas (ANASTAS e KIRCHHOFF 2002). Inicialmente, não apresentaram uma relação explícita com a sustentabilidade, porém, essa associação vem sendo construída progressivamente ao longo do tempo (MARQUES ET al, 2020).

Machado (2012, p.1250) ressalta que os 12 princípios "têm servido para a consciencialização dos químicos sobre variados aspectos da Química que requerem revisão com vista a reduzir os seus impactos negativos sobre a saúde humana e ecológica" e que um segundo conjunto de princípios foi desenvolvido por Winterton (2001) mais direcionado aos profissionais da Química acadêmica: (13) identificação e quantificação de co-produtos; (14) obtenção de conversões, produtividades etc; (15) estabelecimento de balanços materiais completos para o processo; (16) determinação das perdas de catalisadores e solventes nos efluentes; (17) investigação da energia básica do processo; (18) identificação de limitações quanto às transferências de calor e de massa; (19) visualização das reações sob a perspectiva dos engenheiros químicos; (20) consideração da globalidade do processo industrial ao selecionar a química de base; (21) procura (desenvolvimento e aplicação) de medidas de sustentabilidade do processo; (22) quantificação e minimização do uso de "utilidades"; (23) identificação de situações de incompatibilidade entre a segurança do processo e a minimização de resíduos e (24) monitorização, registro e minimização dos resíduos produzidos na síntese laboratorial.

Dessa forma, o segundo conjunto de princípios tem foco em orientações mais específicas para o desenvolvimento de novas vias de síntese, enquanto os 12 primeiros abordam aspectos mais gerais, numa proposta de transição para uma química menos poluidora.

Assim, a prática e o cumprimento desses princípios contribuem para o desenvolvimento de processos químicos menos poluidores e agressivos ao meio ambiente. Além disso, é importante ressaltar que a preocupação com a prevenção é fundamental para minimizar a geração de resíduos, mas também para diminuir custos, riscos, toxicidade e consumo de energia, como destacam Sandri e Santin Filho (2019).

Por outro lado, há uma concepção de que a prática de QV extrapola esse caráter técnico (incremental) podendo alcançar novas racionalidades. Segundo Zuin (2011), estas levam em conta a sustentabilidade socioambiental e as implicações éticas, aspectos fundamentais para uma atuação responsável na prevenção e tomada de decisões sobre problemas ambientais.

> Todavia, embora a incorporação de medidas práticas seja fundamental, e talvez uma das maiores contribuições da QV, uma vez que, por meio de seus princípios oferece um roteiro possível e seguro para o melhoramento químico, ecológico e econômico dos processos químicos, entendemos que a prática e o ensino da QV não devem se encerrar apenas nesses aspectos, mas deve tornar-se abrangente [...]. (SANDRI e SANTIN FILHO, 2019, p.36).

Esse entendimento num modo mais amplo envolve a discussão sobre inovação, desenvolvimento científico e tecnológico e responsabilidade social. Para além dos 12 princípios, existem outros conceitos e práticas que contribuem para a realização de processos mais limpos e seguros e, consequentemente, estão inseridos no universo da QV, como:

- Sustentabilidade: entendida em sentido biológico como a capacidade de reprodução e recuperação dos ecossistemas frente às ações antrópicas e naturais, ou numa percepção econômica, como adjetivo de desenvolvimento, visto que o consumo desmedido dos recursos naturais impacta sob diversos aspectos a vida no planeta (NASCIMENTO, 2012). É definida por Boff (2012) como

  > 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)

  Para Jacobi (2003, p.196),

  > A sustentabilidade como novo critério básico e integrador precisa estimular permanentemente as responsabilidades éticas, na medida em que a ênfase nos aspectos extra-econômicos serve para reconsiderar os aspectos relacionados com a eqüidade, a justiça social e a própria ética dos seres vivos (JACOBI, 2003, p.196).

- Bioeconomia: um conceito também conhecido como economia de base biológica, que pode ser entendido como práticas ecológicas e sociais no contexto do desenvolvimento sustentável (KALAYCI, UZUN e OZKURT, 2017). É uma economia de produtos inovadores e de alto valor agregado (CGEE, 2010).

> A bioeconomia baseada no conhecimento (BBC) é uma nova abordagem para a economia que se baseia na produção, uso e conservação dos recursos biológicos a partir da aplicação do conhecimento científico, tecnologia e inovações, para criar uso inovador e eficiente da biomassa, sua finalidade é o desenvolvimento de alternativas tecnológicas que ajudem a superar a dependência de recursos fósseis. Esta proposta surgiu em 2009 por iniciativa da OCDE e da União Europeia, o grau de progresso nos diferentes países tem sido função das características dos seus Sistemas Nacionais de Inovação (SNI) (SÁNCHEZ e GONZÁLEZ, 2020, p.45)

- Economia Circular: um conceito que emergiu na década de 1990, inspirado nos ciclos biológicos, como alternativa viável para reduzir a produção desenfreada de resíduos nos processos baseados na economia linear. “Vem como um modelo para impulsionar a sustentabilidade, pois os fluxos de materiais são como ciclos biológicos, ou seja, os produtos são projetados e planejados para um metabolismo cíclico, através da geração de valor” (DEUS et al., 2017, p.1).

> O objetivo não é diminuir o fluxo de materiais do início ao fim de vida, mas promover estratégias que permitam aos materiais manter suas características enquanto recursos, retornando ao processo de forma cíclica. Isso gera inerentemente uma relação sinérgica entre os sistemas ecológicos e econômicos de forma positiva. (BRAUNGART, MC DONOUGH e BOLLINGER, 2007, p.2)

- Avaliação do Ciclo de Vida: é uma ferramenta desenvolvida para avaliar possíveis impactos ambientais causados por bens de consumo e serviços ao longo do seu ciclo de vida. Apresenta limitações como a necessidade de simplificação de alguns aspectos e não inclui impactos econômicos e sociais (MIRANDA, 2012), mas é considerada uma ferramenta de apoio à tomada de decisões.

- Pegada Ecológica: é um índice de sustentabilidade que leva em consideração a biocapacidade do planeta;

> [...] tem como objetivo representar o espaço ecológico necessário para sustentar determinado sistema. Esse instrumento contabiliza as entradas e saídas dos fluxos de matéria e energia de dado sistema econômico, traduzindo-os em área equivalente em terra ou água produtiva. Assim, considerando a energia, os recursos naturais e a capacidade de absorção de resíduos ou dejetos do sistema, o instrumento calcula o indicador do impacto ambiental, que corresponde à área que será necessária para sustentar o sistema (ROHAN, BRANO e SOARES, 2018, p.858).

Apresenta como limitação o fato de avaliar apenas a dimensão ambiental, mas tem sido utilizado para diagnosticar o desenvolvimento de países (SICHE et al., 2007).

- Segurança Química: é um tema de preocupação mundial e que envolve meio ambiente e responsabilidade social (PAN, 2012).

> entendida como um conjunto de estratégias para o controle e a prevenção dos efeitos adversos para o ser humano e o meio ambiente decorrentes da extração, produção, armazenagem, transporte, manuseio e descarte de substâncias químicas (FREITAS et al., 2002, p.250).

No cenário nacional destaca-se a proposta desenvolvida pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), em parceria com a comunidade científica e tecnológica, a respeito de temas correlacionados a QV (biorefinarias, alcoolquímica, oleoquímica, sucroquímica, fitoquímica, conversão de CO_2, bioprodutos, bioprocessos e biocombustíveis, energias alternativas), explorando a experiência na área e a diversidade brasileira. Tem 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, p.9).

Nesse contexto, ressalta-se a atenção que tem sido dispensada às dimensões ambiental, social e de governança (ESG) no sentido da sustentabilidade corporativa

(ARAÚJO, CORREIA e CÂMARA, 2022). Esse conceito surgiu em 2005, liderado pela ONU e caracteriza-se em “um conjunto bastante amplo de questões, desde a pegada de carbono até as práticas trabalhistas e de corrupção, que justificam a criação de critérios e práticas que direcionam o papel e a responsabilidade dos negócios” (IRIGARAY e STOCKER, n.p., 2022).

Por outro lado, apesar da ampla divulgação dos princípios e dos avanços alcançados pelo setor industrial, a prática da QV ainda é considerada incipiente e necessita de mais desenvolvimento em pesquisa e implementação, como afirma Machado (2012).

Em uma pesquisa mais recente, Marques et al. (2018) destaca que em mais 25 anos a QV cresceu e se diversificou, porém esse aumento contrasta com um crescimento lento em relação às experiências de ensino. Além disso, uma revisão sobre a evolução da QV feita por Marques e Machado (2021) apontou as principais mudanças ocorridas ao longo de 25 anos. Para os autores a QV:

- adquiriu identidade e ampliou o seu escopo para além da síntese;
- progressivamente vem sendo incorporada aos critérios da sustentabilidade, fato que tem influenciado não só as práticas de Química como a maneira de pensar Química;
- embora ainda dominada pela aplicação dos doze princípios (pensamento reducionista), tem expandido lentamente para uma visão mais holística (pensamento sistêmico) e
- tem avançado na forma de implementação de um aspecto incremental para um transformador.

Sendo assim, percebe-se que estudar sobre QV extrapola os limites dos 12 princípios, e esse estudo tem se tornado cada vez mais necessário para os especialistas atuantes e em formação. De acordo com Serrano e Ruvalcaba (2013), embora a QV tenha raízes na indústria, a difusão da sua filosofia carece de processos educativos para que o modo de pensar e a prática sustentável logrem sucesso.

Por outro lado, identifica-se também uma demanda da Educação Básica, no sentido de ampliar a compreensão de mundo dos alunos, para que possam atuar futuramente como agentes transformadores. E, nos dias de hoje, acredita-se que isso pressupõe um ensino de Química dentro do contexto da QV.

2.1.1- Química Verde e a Sustentabilidade

A QV surgiu como uma busca acadêmica e industrial da inovação tecnológica economicamente viável para reduzir a emissão de resíduos, prevenir a poluição e minimizar o risco à saúde em atividades químicas (MARCELINO, MARQUES e SJÖSTRÖM, 2019), sendo considerada uma possibilidade para alcançar a sustentabilidade (SANDRI e MARQUES, 2021; ANASTAS e ZIMMERMAN, 2019; MARQUES ET AL., 2013; ANASTAS e KIRCHOFF, 2002).

O cumprimento dos doze princípios como a economia atômica e o desenvolvimento de rotas e produtos seguros, dentre outros, contribui para minimizar prejuízos, prevenir e salvaguardar o meio ambiente (MARQUES ET AL., 2013). Entretanto, não abarca aspectos sociais e econômicos fundamentais para o desenvolvimento sustentável (MARQUES ET AL., 2020). Entretanto, compreende-se que a necessidade de oferta de produtos mais seguros demandada pelo crescimento populacional revela a importância social da Química para o ser humano, bem como pode favorecer o crescimento econômico.

De acordo com Marques et al. (2020), os critérios da sustentabilidade vêm sendo incorporados progressivamente à QV, embora a discussão na literatura ainda seja modesta (MARQUES e MACHADO, 2014; 2021; MARCELINO, MARQUES e SJÖSTRÖM, 2019). Para esses autores, há uma correlação positiva entre QV e sustentabilidade, porém ainda não muito clara. Desta forma, é essencial analisar como as dimensões social, econômica e ambiental se relacionam com a QV em vista de definir uma possível forma de engajamento, além de debater sobre os limites inerentes a essa relação.

Nesse sentido, destaca-se que as contribuições da QV podem se alinhar às metas dos ODS, que se constituem em desafios para os países na busca de diminuir as desigualdades sociais e promover uma vida digna para as suas populações.

Estes propósitos apresentam, por exemplo, metas para oferecer água potável e saneamento para todos, além de energia acessível e limpa. Nesse sentido, a QV está em consonância, à medida em que pressupõe o uso de resíduos e efluentes para a obtenção de produtos e energia renovável, prevenindo a contaminação ambiental e oportunizando a diversificação da matriz energética. Além disso, outras práticas verdes como o incentivo

ao uso de biomassa associada à tecnologia, agregam valor às cadeias produtivas contribuindo para o desenvolvimento e a inovação industrial, bem como, o crescimento econômico e a geração de emprego.

Destaca-se ainda que o desenvolvimento de processos mais limpos e o aproveitamento dos resíduos gerados colaboram com outros objetivos como a criação de cidades e comunidades sustentáveis e o consumo e produção responsáveis. Ademais, esses processos previnem a poluição, uma vez que o baixo impacto ambiental contribui para o combate às alterações climáticas e para a manutenção das vidas aquática e terrestre.

Segundo Anastas (2002), o desafio da sustentabilidade será enfrentado com novas tecnologias que proporcionam à sociedade de forma ambientalmente responsável os produtos de que dependemos. Por outro lado, é fundamental pensar nas limitações que dificultam a conquista desse desafio.

A necessidade de utilização de recursos naturais para a geração de bens de consumo, inerente ao modelo de crescimento econômico, aponta, por exemplo, para o caráter controverso do desenvolvimento sustentável. Assim, inovações tecnológicas promovidas pela QV podem contribuir para o alcance de critérios da sustentabilidade, mas não dão conta de toda a problemática envolvida.

O cientista e economista Georgescu-Roegen (2012), ao analisar o crescimento econômico do ponto de vista estritamente físico afirma que

> aquilo que entra no processo econômico consiste em *recursos naturais de valor* e o que é rejeitado consiste em *resíduos sem valor*. Essa diferença qualitativa está confirmada, embora em outros termos, por uma divisão particular e até mesmo singular da física conhecida pelo nome de termodinâmica. Do ponto de vista da termodinâmica, a matéria-energia absorvida pelo processo econômico o é num estado de *baixa entropia* e sai num estado de *alta entropia* (GEORGESCU-ROEGEN, 2012, p.57)

Pautados nesse pensamento, alguns trabalhos da literatura (MARQUES E MACHADO, 2021; MARQUES ET AL., 2020; MARCELINO, MARQUES e SJÖSTRÖM, 2019; MARQUES ET AL., 2014) apontam para os limites físicos impostos pela Segunda Lei da Termodinâmica às inovações tecnológicas que visam a eliminar a geração de resíduos. Os autores ressaltam que a atividade industrial é muito materializada, isto é, necessita de grande quantidade de recursos naturais para fabricar seus produtos, além de energia.

Ou seja, a natureza da indústria química envolve uma complexidade, tanto em relação aos produtos quanto aos processos de fabricação, que limitam o alcance pleno da sustentabilidade (MARQUES e MACHADO, 2014). Assim, ao relacionar a sustentabilidade ambiental ao desenvolvimento de práticas químicas é preciso considerar os limites físicos e materiais impostos pelo ambiente.

> Neste sentido, é necessário reconhecer que as atividades econômicas nutrem-se de matéria e energia, transformando matérias-primas de baixa entropia em produtos, acompanhados de resíduos de alta entropia, à custa de energia concentrada de baixa entropia que é dissipada como calor (energia de alta entropia), de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica. (MARQUES ET AL., 2013, p.915)

Levando isso em consideração, as contribuições da QV são fundamentais para o estabelecimento de uma nova forma de pensar e desenhar os processos químicos, oportunizando utilizar de modo mais duradouro os recursos da natureza, bem como fabricar produtos mais seguros e com menor geração de resíduos. Entretanto, diante das limitações destacadas, a sustentabilidade ambiental plena é fisicamente impossível (MARQUES e MACHADO, 2014).

> Assim, se de um lado persiste a ideia recorrente de que ao utilizar bens naturais para processos de transformação da matéria e para obtenção de energia, isso ajudará a alcançar um maior e mais duradouro equilíbrio (no sentido termodinâmico) — seja utilizando fontes renováveis, seja controlando a quantidade e a toxicidade dos resíduos dos processos —, do outro, tal aspiração parece conter e reconhecer uma crítica ao modelo de desenvolvimento econômico e social de nossa civilização industrial. (MARQUES ET AL., 2013, p.916)

Nesse contexto, é importante discutir também sobre os aspectos da dimensão social nessa relação. MARCELINO, MARQUES e SJÖSTRÖM (2019) destacam a pouca discussão na literatura sobre essa questão e afirmam que há uma visão restrita sobre a participação social nas questões científicas apenas enquanto consumidores. Além disso, ressaltam a responsabilidade social como o elo forte entre a QV e a sustentabilidade social, visto que os químicos têm se responsabilizado pelos impactos negativos causados ao meio ambiente e investido em novas práticas ambientalmente mais seguras. Para os autores,

> a sociedade pode influenciar a ciência muito mais do que apenas por serem consumidores responsáveis que escolhem o produto mais benigno ambientalmente. A sociedade pode influenciar a agenda científica, debatendo os problemas que devem ser enfrentados pelos cientistas, apoiando suas pesquisas e até organizando e coletando dados para enriquecer a investigação (MARCELINO, MARQUES e SJÖSTRÖM, 2019, p.6)

Entretanto, essa forma de participação pode interferir de modo indesejado no crescimento econômico, visto que nem sempre é possível conciliar os interesses corporativos e da comunidade. Desta forma, a dimensão social torna-se um item englobado pela dimensão econômica.

Nesse sentido, é essencial superar a visão sobre a atividade química como prática teórica que se limita a explicar o que é o mundo, em vista de alcançar a compreensão de que é uma prática transformadora do mundo real. Do mesmo modo, esse entendimento pode contribuir para transpor outras perspectivas consideradas extremistas: a visão salvacionista da Ciência, "na qual a QV pode ser vista como tábua de salvação às degradações ambientais" e a visão fatalista "que atribui à conta das atividades químicas, principalmente às industriais, a culpa por danos ambientais e sociais" (SANDRI e MARQUES, 2021, n.p.).

Diante dessas questões controversas, autores como Machado (2012) e Marcelino, Marques e Sjöström (2019) têm sugerido o uso do pensamento sistêmico como forma de promover uma visão mais complexa e holística sobre a sustentabilidade e o papel da Química para alcançá-la.

De acordo com Marques et al. (2020) essa compreensão mais global sobre a QV é um desafio e ao mesmo tempo promissora, principalmente em relação ao seu ensino, sendo considerada inovadora do ponto de vista pedagógico e metodológico.

O pensamento sistêmico caracteriza-se em uma abordagem que vai além dos conhecimentos fragmentados dos conteúdos disciplinares.

> As abordagens de pensamento sistêmico enfatizam a interdependência de componentes de sistemas dinâmicos e suas interações com outros sistemas, incluindo sociais e ambientais. Tais abordagens muitas vezes envolvem a análise de comportamentos emergentes, que é como um sistema como um todo se comporta de maneiras que vão além do que pode ser aprendido com o estudo dos componentes isolados desse sistema. Reações e processos químicos, tanto na natureza quanto na indústria, também funcionam como partes de sistemas complexos, dinâmicos e interdependentes. [...]. Além disso, os sistemas de química e seus componentes interagem com muitos outros sistemas, incluindo o

> ambiente circundante, levando a efeitos benéficos e nocivos sobre o biológico, sistemas ecológicos, físicos, sociais e outros sistemas (MAHAFFY ET AL., 2018, p.1).

Desta forma, ao considerar essa perspectiva, os autores supõem que a integração das diversas componentes (socioambiental, política, econômica, ética etc.) no contexto da QV pode contribuir para que haja melhor compreensão em vista da complexidade estabelecida.

Tendo isso em vista, percebe-se que relacionar a QV com as dimensões social, econômica e ambiental é fundamental para que se caminhe em direção à sustentabilidade, enfatizando suas potencialidades e buscando alternativas para superar as limitações. "Esse enquadramento progressivo da QV em sustentabilidade ampliou o campo de sua justificativa socioambiental e acrescentou os esforços sociocientíficos para alcançar um modelo de desenvolvimento mais sustentável" (MARQUES ET AL., 2020, p.1513).

De acordo com Sjöström e Eilks (2018), o educar para a sustentabilidade visa ao desenvolvimento de habilidades para a participação crítico-democrática. Nesse contexto, torna-se essencial o uso do conhecimento científico como "instrumento para a prática social fundamentada, responsável, crítica e transformadora" (SANDRI e MARQUES, 2021, n.p.), de modo a contribuir para a promoção da educação para a sustentabilidade.

2.1.2- Sobre o ensino da Química Verde

A QV teve sua origem na década de 1990 basicamente como uma resposta ao problema da poluição ambiental causado pela geração de resíduos do setor industrial. Trinta anos depois, seu conceito foi difundido mundialmente e nas mais diversas áreas. Assim, existem na literatura pesquisas sobre o estado da arte dessa temática (PRADO, 2003; COSTA, RIBEIRO e MACHADO, 2008; FARIAS e FÁVARO, 2011; MACHADO, 2011; SOUZA-AGUIAR et al., 2014; GOMES et al., 2018; MARCELINO, PINTO e MARQUES, 2020) que apresentam um panorama do que foi desenvolvido e apontam possibilidades futuras.

Em relação ao ensino de QV, a literatura apresenta resultados e discussões, sobretudo aqueles obtidos em cursos de graduação e pós-graduação (LEAL e MARQUES, 2008; MARQUES, 2012; CORRÊA et al., 2013; ZUIN, 2013; SUMMERTON et al., 2013; ALTAVA, BURGUETE e LUIS (2013); MANSILLA,

MUSCIA e UGRIAROLO (2013); ROLOFF e MARQUES, 2014) e destacam a preocupação em não apenas desenvolver novos métodos químicos mais limpos de produção, mas também formar uma nova geração de químicos nessas metodologias e nos conceitos da QV.

Cabe ressaltar ainda, que a preocupação com os malefícios gerados ao meio ambiente não é essencialmente ética e moral, mas também fortemente política e econômica, dentre outras influências. Mestres (2013) constata isso ao falar sobre os resultados da experiência nessa área na América, Europa e Japão.

> A experiência na América, Europa e Japão, demonstra que sua mensagem tem penetrado na mente do químico industrial por considerações não somente éticas, mas também econômicas. De fato, sua aplicação conduz a modificações economicamente rentáveis nos processos industriais, em parte ao reduzir substancialmente os custos da engenharia química paliativa, imprescindíveis quando se geram e lidam com substâncias perigosas (MESTRES, 2013, p. 103).

Assim, acredita-se que estudantes inseridos nessa filosofia têm grandes possibilidades de desenvolverem mudança de pensamento e atitude frente à sua atuação enquanto atores integrantes do meio ambiente.

As primeiras iniciativas relativas à Educação Ambiental (EA) no Brasil datam da década de 1970, quando foi criada a Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA). O órgão incentivou a criação de cursos de extensão sobre ecologia, projetos de educação ambiental, disciplinas e cursos voltados para as questões ambientais nas universidades, seminários, encontros e até a publicação de uma proposta de ensino sobre ecologia para a educação básica.

Na década seguinte foi criada a Lei 6938/81 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. No mesmo período o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) apresentou uma resolução estabelecendo diretrizes para a EA. Em 1987, o Ministério da Educação (MEC) aprovou o Parecer 226/87 sobre a necessidade de inclusão da EA nos currículos escolares de 1° e 2° graus.

No ano seguinte, foi promulgada a Constituição Federal (1988), que em seu art. 225, capítulo VI, inciso VI, destaca a necessidade de “promover a Educação Ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente’’. E assim, ficou decretada em todo o país a obrigatoriedade da EA. Logo após,

o MEC determinou que todos os currículos dos diferentes níveis de ensino contemplassem conteúdos dessa área.

A partir da conferência Rio-92, os critérios de sustentabilidade passaram a ganhar destaque em virtude da preocupação com o estado de desequilíbrio cada vez mais acelerado do planeta. Ações relativas à EA começaram a ser, então, promovidas em favor do desenvolvimento sustentável.

A AGENDA 21, documento resultante dessa conferência, dedica um capítulo de referência em que "propõe um esforço global para fortalecer atitudes, valores e ações que sejam ambientalmente saudáveis e que apoiem o desenvolvimento sustentável por meio da promoção do ensino, da conscientização e do treinamento" (AGENDA 21, 1992, np.). Dois anos depois foi criado o projeto Educação para um Futuro Sustentável com o objetivo de implementar as recomendações relativas à educação promovidas na Rio-92.

Nesse contexto, destacam-se também a participação de Organizações Não Governamentais (ONGs) brasileiras em fóruns internacionais para a redação do Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e Responsabilidade Global, no qual foi ressaltada a importância do papel da EA na construção da cidadania ambiental; e na Carta Brasileira de Educação Ambiental, que apontou a necessidade de capacitação de recursos humanos para EA.

Essas ações culminaram, em 1994, no desenvolvimento do Programa Nacional de Educação Ambiental (PRONEA), uma política pública que visa a articular iniciativas de âmbito educativo e ações voltadas à proteção, recuperação e melhoria socioambiental.

Cinco anos depois, foi aprovada a Lei 9795/99 que instituiu a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA) e apresenta o seguinte entendimento a esse respeito:

> os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade (BRASIL, n.p.,1999).

Em 2002, a ONU estabeleceu a Década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS) entre os anos de 2005 e 2014, programa agenciado por ela para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) que visava "à promoção de valores éticos por intermédio da educação, na perspectiva da promoção de mudanças nos estilos de vida das

pessoas e na construção de um futuro sustentável" (DÉCADA DAS NAÇÕES UNIDAS DA EDUCAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2004).

Com o fim da década, foi realizada a Conferência Mundial de Educação para o Desenvolvimento Sustentável visando a adotar um plano global de ação para dar continuidade aos objetivos dessa educação (BORREDA e VILCHES, 2016).

Percebe-se, então, que questões referentes ao meio ambiente vêm sendo discutidas nas universidades e escolas brasileiras há muitos anos, dentro do contexto da EA. De acordo com Borreda e Vilches (2016), educadores de todas as áreas e segmentos da educação, formal e não formal, vêm sendo convidados a participar desse movimento em prol de formar indivíduos conscientes da emergência planetária e capazes de tomar decisões a esse respeito.

No contexto da Educação Básica, os documentos legais para o ensino médio, PCN, DCN e BNCC, sugerem que a EA seja abordada como tema transversal no currículo devendo ser tratada por todas as disciplinas das diversas áreas do conhecimento. Nesse sentido, as contribuições ajudam a aumentar a sensibilidade e a conscientização dos estudantes acerca dessas questões, entretanto observa-se muito pouco desse estudo associado aos conteúdos químicos (ZUIN e MARQUES, 2015).

Ao analisar especialmente as orientações legais para o ensino de Química, nota-se um incentivo em abordar os conteúdos dentro de um contexto sociocultural, buscando superar a visão negativa da Química como poluidora do meio ambiente.

Nos PCN+ (BRASIL, 2007), que sugerem algumas propostas de organização dos conteúdos disciplinares, é possível identificar nos temas estruturadores do ensino de Química, habilidades a serem desenvolvidas nos alunos para que sejam capazes de avaliar em que medida os processos químicos perturbam os ambientes naturais; propor ações preventivas individuais ou coletivas; e tomar decisões sobre esses impactos causados pela intervenção humana.

Desta forma, embora não haja menção ao termo "Química Verde" nesses documentos, são citadas algumas habilidades pertinentes ao que é pretendido pela QV, por exemplo:

> • Associar dados e informações sobre matérias-primas, reagentes e produtos de transformações químicas que ocorrem nos sistemas produtivos, com suas implicações ambientais e sociais. [...].

> • Avaliar possíveis implicações das relações quantitativas nas transformações químicas que ocorrem nos sistemas produtivos, rural e industrial. [...].
> • Compreender a importância e o controle da dinâmica das transformações químicas nos processos naturais e produtivos. [...].
> • Propor meios e avaliar as consequências de modificar a dinâmica de uma transformação química. [...].
> • Avaliar a utilização da biomassa como fonte alternativa de materiais combustíveis. (BRASIL, 2007, p.95;97;100;105)

Nos anos de 2013, 2015 e 2020, o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) apresentou questões sobre QV e seus princípios, embora o texto da Matriz de Referência de Ciências da Natureza e suas Tecnologias também não mencione diretamente essa temática. Assim como nos demais documentos legais, identificam-se apenas algumas habilidades, tais como:

> H10 – Analisar perturbações ambientais, identificando fontes, transporte e(ou) destino dos poluentes ou prevendo efeitos em sistemas naturais, produtivos ou sociais. [...].
> H12 – Avaliar impactos em ambientes naturais decorrentes de atividades sociais ou econômicas, considerando interesses contraditórios. [...].
> H19 – Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental. [...].
> H26 – Avaliar implicações sociais, ambientais e/ou econômicas na produção ou no consumo de recursos energéticos ou minerais, identificando transformações químicas ou de energia envolvidas nesses processos. [...].
> H27 – Avaliar propostas de intervenção no meio ambiente aplicando conhecimentos químicos, observando riscos ou benefícios. (BRASIL, 2009, n.p.)

Percebe-se, então, que há a intenção de promover o ensino de Química evidenciando como os conhecimentos científicos e tecnológicos interferem nos sistemas produtivos e no ambiente e, diante disso, capacitar os estudantes para que tomem decisões que contribuam para solucionar questões socioambientais.

Nesse sentido, o ensino de conceitos de QV tem um papel importante, visto que, a interferência nos processos químicos visando a minimizar a produção de resíduos, pressupõe uma mudança de pensamento individual e coletiva, em vista de estabelecer uma relação mais amigável com o meio ambiente.

Zuin e Marques (2015) apontam que não é possível definir quando o ensino de QV começou a ser difundido na educação básica e superior no Brasil, mas indicam o

aparecimento de propostas para o primeiro segmento em 2007, na revista QNEsc, como um dos marcos dessa disseminação. O trabalho investiga um grupo de professores de Química acerca de suas concepções sobre o contexto em que atuam e a possibilidade de incorporar temas sociais na perspectiva da QV em suas aulas (COELHO e MARQUES, 2007).

Segundo Zuin e Marques (2015, p.29), ensinar QV no ensino médio é importante, pois "estudar as consequências inevitáveis de ações humanas com e sobre o meio ambiente pode ajudar nossos alunos a melhor entendê-lo e, principalmente, protegê-lo".

Assim, ao optar pela introdução de conceitos de QV na educação básica é importante pautar-se nas diretrizes educacionais já mencionadas, mas é fundamental pensar em abordagens e estratégias didáticas que possibilitem a sua efetiva implementação.

Embora não se tenha muitos relatos sobre esses aspectos, encontram-se publicações relativas à formação de professores (SANDRI e MARQUES, 2021; SANDRI e SANTIN FILHO, 2016; 2019; MARQUES e MACHADO, 2018), no sentido de pensarem propostas que possam ser incorporadas na sua futura prática docente e, ainda, discussões sobre possíveis modelos de abordagem de QV.

Uma pesquisa no catálogo de teses e dissertações da Plataforma Sucupira a partir do termo "Química Verde", grande área do conhecimento multidisciplinar e área de avaliação em ensino, indicou sete trabalhos publicados entre 2013 e 2019: duas dissertações de mestrado acadêmico, uma dissertação de mestrado profissional e quatro teses de doutorado. Dentre esses, cinco apresentam como objetivo pesquisar sobre o ensino de QV no contexto de formação de professores de Química (SOUZA, 2013; DIAS, 2016; SANDRI, 2016; ROLOFF, 2016; LOZANO, 2019), um utilizou a QV como tema sociocientífico em uma sequência didática para alunos do ensino médio (SILVA, 2013), enquanto outro empregou como palavra-chave para pesquisar sobre como a natureza é tratada no ensino de Química (SANTOS, 2015).

No âmbito internacional, após a declaração sobre a Década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável, Burmeister, Raush e Eilks (2012) propuseram modelos de abordagem para o ensino do desenvolvimento sustentável no contexto da educação em Química, nos níveis médio e superior, que incluíam o ensino de QV: (1) Adoção dos princípios da QV em atividades de laboratório; (2) Inserção de estratégias sustentáveis

como conteúdo no currículo de Química; (3) Uso de questões controversas de sustentabilidade relacionadas a aspectos sócio científicos que contribuam para o ensino de Química e (4) EDScomo parte integrante do currículo escolar.

Nota-se uma tendência de abordagem que vai do mais simples ao mais abrangente. A princípio, pretende-se que os estudantes possam aprender como a indústria e a pesquisa em Química se esforçam para minimizar a exploração dos recursos, ampliar os efeitos benéficos e proteger o meio ambiente. Ao avançar nos modelos, é sugerida a inclusão de conteúdos no currículo de Química que possibilitem abordar processos químicos envolvidos na geração de bens de consumo, tornando esse conhecimento mais significativo para o aluno.

Ainda em outro patamar, é proposto ir além do aprendizado dos conhecimentos químicos, mostrando como esses conhecimentos são utilizados pela sociedade, no sentido de desenvolver nos alunos habilidades para a tomada de decisão sobre questões sociocientíficas. E no quarto modelo pretende-se que o estudante possa intervir na sociedade de modo a mudar a sua vida e para isso, é necessário que a EDSpermeie todos os currículos da escola.

Desta forma, compreende-se o ensino de QV no âmbito da EDS, sendo fundamental a sua incorporação nos currículos sob a perspectiva da sustentabilidade (SJÖSTRÖM, EILKS e ZUIN, 2016; EILKS e ZUIN, 2018).

Neste sentido, é interessante destacar que mesmo tendo sido elaborados anteriormente, verifica-se nos PCNs (1998) algumas habilidades a serem desenvolvidas nos estudantes que encontram-se alinhadas às componentes da sustentabilidade:

> • Reconhecer aspectos químicos relevantes na interação individual e coletiva do ser humano com o ambiente.
> • Reconhecer o papel da Química no sistema produtivo, industrial e rural.
> • Reconhecer as relações entre o desenvolvimento científico e tecnológico da Química e aspectos sócio-político-culturais.
> • Reconhecer os limites éticos e morais que podem estar envolvidos no desenvolvimento da Química e da tecnologia. (BRASIL, 1998, p.39).

Ainda outros autores, Goes et al. (2013), ao analisarem o conhecimento pedagógico do conteúdo de QV em professores universitários de Química de uma instituição de ensino superior brasileira, e a partir dos modelos básicos propostos por

Burmeister, Raush e Eilks (2012), sugeriram três modelos que podem orientar professores em suas práticas de ensino de QV: (1) Abordagem Tradicional; (2) Abordagem contextualizada e (3) Abordagem sociocientífica.

O modelo 1 está mais focado nos princípios da QV, enquanto o segundo busca relacionar esses princípios ao contexto da indústria química, aplicações tecnológicas e questões ambientais. Por fim, o modelo 3 prioriza o desenvolvimento de habilidades e atitudes focadas no desenvolvimento sustentável.

> Os modelos 1 e 2 são mais fortemente relacionados a aspectos de conteúdo, enquanto o modelo 3 tem particular ênfase em aspectos relacionados a atitudes e valores. O modelo 1 é principalmente centrado em conceitos de química, assim como o modelo 2, o qual agrega um foco mais acentuado nas relações entre química, sistema produtivo e ambiente e, no modelo 3, o foco relacionado a aspectos econômicos e sociais adquire maior ênfase. (GOES ET AL., 2013, p.117)

Para Zuin (2011) existem duas formas de conceber a QV no processo educativo: a vertente técnica ou instrumental, cujo objetivo é interferir nos processos químicos, basicamente a partir do cumprimento dos doze princípios, de modo a impactar menos o ambiente, e a vertente crítica, na qual uma nova racionalidade é construída a respeito das atividades químicas, colaborando para a criação de um novo paradigma, em vista do bem-estar coletivo (SANDRI e SANTIN FILHO, 2019).

A primeira tem uma importância fundamental frente aos desafios de superar as questões ambientais. Entretanto, limita-se ao tratamento dos aspectos naturais em detrimento de uma abordagem mais ampla, que contemple outras dimensões dessa problemática. Considera-se que

> a vertente crítica da QV representa uma mudança de paradigma dentro do seu próprio âmbito, uma vez que a vertente técnica da QV ainda tem filiações filosóficas e epistemológicas presas ao cartesianismo, o que a leva a tratar das questões ambientais e econômicas de maneira fragmentada e desconexa em relação às complexidades sociais, políticas, culturais e históricas, e alimentar crenças acerca do papel da ciência e da tecnologia como corretoras absolutas dos problemas de ordem socioambiental. (SANDRI e SANTIN FILHO, 2019, p.36)

Nessa perspectiva, esses autores ressaltam que para que o ensino de QV promova a alfabetização científica na qual os estudantes sejam capazes de se utilizar dos

conhecimentos científicos para tomar decisões sobre questões socioambientais, é essencial que esse ensino “ultrapasse sua dimensão técnica instrumental e proporcione as reflexões necessárias para esta se tornar uma nova racionalidade dentro da prática química” (SANDRI e SANTIN FILHO, 2016, p.122).

Desta forma, propuseram três modelos de abordagem pautados nas características das duas vertentes descritas: (1) leva em consideração a aplicação dos doze princípios em atividades experimentais; (2) relaciona elementos da sustentabilidade e conceitos de QV com os conteúdos químicos e (3) sustentabilidade e QV são trabalhadas na perspectiva de questões sociocientíficas controversas (SANDRI e SANTIN FILHO, 2019). Esses modelos foram estruturados levando-se em consideração as dimensões da abordagem didática, postura do professor, momento e frequência da aplicação e objetivos educacionais e, por isso, acredita-se que podem auxiliar os docentes na elaboração de suas estratégias didáticas para o ensino de QV.

Marques e Machado (2018) analisaram propostas e relatórios de experiências didáticas do cenário internacional e identificaram três vertentes relacionadas à inserção da QV no currículo: (1) enxerto de conteúdos de QV; (2) QV como disciplina e (3) QV como conteúdo transversal curricular.

A primeira vertente é considerada a mais forte e envolve a escolha de determinados conteúdos e práticas experimentais de QV a serem abordados na disciplina regular de Química, enquanto a segunda considera uma abordagem de QV como disciplina ou a criação de um curso sobre o tema, caracterizando uma vertente menos utilizada. Já a inserção da QV de modo transversal, cruzando disciplinas, propõe a aplicação dos doze princípios em atividades experimentais de modo contextualizado, incorporando estratégias de sustentabilidade e questões controversas que promovam o estudo de aspectos sociocientíficos.

Desta forma, nota-se que o ensino de QV tem se difundido cada vez mais na educação básica e superior, embora com resultados ainda bastante incipientes no que diz respeito ao ensino médio. Pesquisas destacam que o ensino e a aprendizagem de QV tem crescido bastante nos cursos de formação de professores que irão atuar neste segmento (ALMEIDA ET AL., 2019; SANDRI e SANTIN FILHO, 2016; ZUIN e MARQUES, 2015; GOES ET AL, 2013). No entanto, há uma carência relevante sobre relatos de experiência e propostas de atividades desenvolvidas na educação básica.

2.2- Educação CTS e Ensino CTS

Pensar o ensino segundo a abordagem CTS decorre dos pressupostos da educação CTS, que nasceu do movimento social CTS, cujo foco de preocupação foi o crescente número de impactos negativos causados pelo desenvolvimento da ciência e da tecnologia. É importante destacar que o CTS, enquanto campo de estudo, tem raízes prévias no contexto das revoluções científicas, nas quais alguns autores considerados pioneiros (Boris Hessen, Robert Merton, Thomas Kuhn) começaram a pensar criticamente sobre o desenvolvimento científico (MELO, 2017).

Na medida em que efeitos negativos decorrentes do crescimento científico e tecnológico começaram a se revelar, esse olhar mais crítico ganhou intensidade. O período que sucedeu a Segunda Guerra foi sustentado pelo pensamento clássico e linear de que ciência gera tecnologia que, por sua vez, gera progresso e bem-estar social (CHRISPINO, 2017).

Entretanto, consequências resultantes desse processo como, problemas e desastres ambientais (aquecimento global, alterações nos ecossistemas, chuva ácida, destruição da camada de ozônio etc), além de impactos sociais desastrosos (aumento do consumo desenfreado, efeitos adversos na saúde humana, novos perigos inerentes ao trabalho etc) fez emergir na sociedade grupos de ativistas que questionavam e clamavam pela "necessidade de se discutir os riscos que surgiam da chamada prosperidade tecnológica" (CHRISPINO, 2017, p.10).

Esse conjunto de práticas promovidas, de modo organizado e intencional, por atores sociais, em reação aos impactos danosos resultantes do desenvolvimento científico e tecnológico, deram origem ao movimento CTS. E, nesse contexto, profissionais da ciência e da tecnologia, além de acadêmicos, intensificaram os debates e investigações acerca dessas questões, delineando os chamados Estudos CTS (CHRISPINO, 2017).

Silva (2015) destacou que esses acontecimentos constituem as correntes norte-americana e europeia como as duas vertentes principais sobre o assunto.

A primeira, de caráter mais ativista, se concentrou nas consequências sociais e ambientais. O uso de ciência e tecnologia "independentemente da aprovação da sociedade e sem a participação da mesma no processo decisório de usá-las ou não, suscitou o questionamento do *status* da ciência e da tecnologia como neutras e seu objetivo geral de gerar maior bem-estar social" (SILVA, 2015, p.1).

Já a tradição europeia foi caracterizada pela investigação acadêmica centrada nos estudos dos antecedentes ou determinantes sociais da ciência (LÓPEZ CEREZO, 1998). De acordo com Cachapuz et al. (2008, p.29), esta coloca "a ênfase na dimensão social antecedente aos desenvolvimentos científicos e tecnológicos, evidenciando a diversidade de fatores econômicos, políticos e culturais que participam na génese e aceitação das teorias científicas".

Alguns autores defendem a existência de uma terceira tradição, a latino-americana, denominada Pensamento Latino-americano em Ciência, Tecnologia e Sociedade (PLACTS), que diferente das outras, não estava centrada nas universidades ou escolas, mas nos ministérios e centros de pesquisa focados nas questões do subdesenvolvimento, porém "tiveram uma interrupção devido ao contexto político local, caracterizado por regimes autoritários e ditatoriais" (SILVA, 2015, p.114).

De acordo com Dagnino (2014, p.158), "as primeiras iniciativas sistemáticas de pesquisa e formação de profissionais em nível pós-graduação no campo CTS só veio a ocorrer, na Venezuela (CENDES), no Brasil (Unicamp) e na Argentina (UBA), no início da década de 1980."

Nesse sentido, visto que a percepção de ciência e tecnologia como construções sociais depende do contexto em que se insere e, por isso, abrange múltiplas compreensões, a tríade CTS não possui um conceito único e determinado. Na verdade, a complexidade da área é composta por diversas correntes de pensamento e resulta em uma série de consensos, que buscam apresentar os aspectos das relações que se dão entre ciência, tecnologia e sociedade. Sendo assim, esta pesquisa apresenta a concepção de CTS na visão de Cutcliffe (2003):

> A missão central do campo [acadêmico] CTS, até o momento, tem sido expressar a interpretação da ciência e da tecnologia como um processo social. Deste ponto de vista, a ciência e a tecnologia são vistas como projetos complexos em que os valores culturais, políticos e econômicos nos ajudam a configurar os processos tecnocientíficos, que, por sua vez, afetam os mesmos valores e a sociedade que os detém (CUTCLIFFE, 2003, p. 18).

Desta forma, a visão CTS propõe a superação da imagem clássica de que a ciência resulta em tecnologia que, por sua vez, resulta em benefícios para a sociedade (AULER e BAZZO, 2001; MANASSERO e VÁZQUEZ, 2002; BAZZO, LINSINGEN e PEREIRA, 2003).

Nesse contexto social emergiu a Educação CTS, com propostas de alfabetização científica e tecnológica visando à formação de indivíduos com capacidade para tomar decisões democráticas em sociedade (ACEVEDO DÍAZ; VÁZQUEZ; MANASSERO, 2001).

> Temos defendido que a Abordagem CTS é uma maneira de abordar o currículo escolar ou mesmo de posicionar-se frente à Educação e ao mundo real, nos seus mais diversos aspectos. Mais do que uma técnica (pois não é uma ferramenta didática que conduz a um fim de aprendizado específico para encerrar-se logo após), nem uma metodologia (pois que abarca aspectos muito mais amplos que aqueles que caracterizam uma metodologia), CTS é uma abordagem curricular e uma escolha de política educacional. A isso classificamos de Educação CTS. (CHRISPINO, 2017, p.81-82)

Partindo desse princípio, o ensino sob o ponto de vista do enfoque CTS oportuniza aos indivíduos se perceberem como atores sociais ativos no desenvolvimento da ciência e da tecnologia. Ao levar em consideração que a ciência e a tecnologia sofrem todo e qualquer tipo de influência, a abordagem CTS propõe ações didáticas fundamentadas na realidade, que possibilitem ao estudante perceber-se como parte integrante de seu entorno, oferecendo condições para que compreenda esta realidade e possa interferir nela de modo mais consciente.

> Desde a perspectiva da dimensão cognitiva atitudinal, a educação CTS pretende também uma melhor compreensão da ciência e da tecnologia em seu contexto social, incidindo nas inter-relações entre os desenvolvimentos científico e tecnológico e os processos sociais. Assim, os estudantes deverão adquirir durante sua escolarização algumas capacidades para ajudá-los a interpretar, pelo menos de forma geral, questões controvertidas relacionadas com os impactos sociais da ciência e da tecnologia e com a qualidade das condições de vida de uma sociedade cada vez mais impregnada de ciência e, sobretudo, de tecnologia. (ACEVEDO DÍAZ; VÁZQUEZ; MANASSERO, 2001, p.2)

Nesse sentido, a educação CTS pode ser realizada por meio do ensino na abordagem CTS, como forma de promover a transposição didática do conhecimento científico para o mundo real, de modo que o objeto de estudo tenha valor e efetividade.

"A supervalorização da ciência gerou o mito da salvação da humanidade, ao considerar que todos os problemas humanos podem ser resolvidos cientificamente" (SANTOS e MORTIMER, 2002, p.111). Desta forma, em relação ao ensino de Ciências, a abordagem CTS pretende expandir a visão ingênua de área do conhecimento pronta,

imutável, neutra, infalível e compreendida apenas por especialistas. Esses aspectos denominados de mitos da ciência segundo alguns autores (AULER e DELIZOICOV, 2001; SANTOS e MORTIMER, 2002) contribuem para o distanciamento e desinteresse dos estudantes em relação ao seu estudo. Desse modo, a construção do conhecimento científico e o desenvolvimento do pensamento crítico ficam comprometidos e, consequentemente, a formação do indivíduo enquanto cidadão.

Nesse contexto, o ensino CTS é considerado apropriado para todos os níveis, tendo sido introduzido no ensino superior no final da década de 1960.

Cutcliffe (2003) classifica o CTS como campo acadêmico em duas gerações. Na primeira, afirma que ocorreram mudanças nas disciplinas acadêmicas tradicionais que refletiram no aumento do interesse pelas complexidades da ciência moderna e da tecnologia da sociedade contemporânea, sendo a maioria dos trabalhos contrários a postura majoritariamente acrítica que se mantinha vigente. Na segunda geração, tomou como abordagem uma interpretação da ciência e da tecnologia como processos sociais. Nos anos 1980, essa análise foi superada por um processo de alfabetização sobre tecnologia para os estudantes de humanidades e, alcançou a atualidade, concebendo a ciência e a tecnologia como projetos complexos que se dão em contextos históricos e culturais específicos.

Também no ensino secundário a educação CTS se difundiu com a elaboração de programas e materiais, desde o final da década de 1970 (GARCÍA PALACIOS et al., 2001).

Acevedo Romero e Acevedo Díaz (2009, p.2) afirmam que incluir as relações entre ciência, tecnologia e sociedade nos currículos de ciências pode:

- Dar sentido ao conhecimento que os alunos aprendem, aumentando a sua funcionalidade e utilidade fora da sala de aula.
- Colaborar para formar cidadãos capazes de opinar livremente, com conhecimento dos fatos (fundamentos) e responsabilidade social (treino axiológico) em muitos problemas do nosso tempo, sem sacralizar ou denegrir a ciência e a tecnologia.
- Ajudar a evitar rupturas drásticas entre ciência e tecnologia, que tem uma fronteira difícil de definir atualmente (tecnociência).
- Servir como um elemento motivador para os alunos, favorecendo atitudes em relação ao aprendizado de ciências e tecnologia.

Santos e Mortimer (2002) destacam a importância de se ter aportes para a formulação de currículos que almejam alcançar os objetivos de um ensino com enfoque CTS. Dentre esses, os autores destacam o desenvolvimento de valores:

> Esses valores estão vinculados aos interesses coletivos, como os de solidariedade, de fraternidade, de consciência do compromisso social, de reciprocidade, de respeito ao próximo e de generosidade. Tais valores são, assim, relacionados às necessidades humanas, o que significa um questionamento à ordem capitalista, na qual os valores econômicos se impõem aos demais. Será por meio da discussão desses valores que contribuiremos na formação de cidadãos críticos comprometidos com a sociedade. (SANTOS e MORTIMER, 2002, p.114)

Nesse sentido, a partir dos estudos de Waks (1990), Kortland (1992) e Sanmartín e Luján Lopez (1992), García Palacios et al. (2001) classificam os programas de CTS no ensino secundário em três grupos: enxerto CTS, Ciência e Tecnologia por meio de CTS e CTS puro. Analisando esse contexto, verifica-se também que outros teóricos da abordagem CTS apresentam classificações para a introdução de conteúdos CTS no ensino pautadas nesse mesmo entendimento (PINHEIRO, MATTOS e BAZZO, 2007; LÓPEZ CEREZO, 2009).

Assim, na descrição de García Palacios et al. (2001, p. 147-148):

> - Enxerto CTS. Trata-se de introduzir nas disciplinas de ciências dos currículos temas CTS, especialmente relacionados com aspectos que levem os estudantes a serem mais conscientes das implicações da ciência e da tecnologia.
> - Ciência e Tecnologia por meio de CTS. Ensina-se mediante a estruturação dos conteúdos das disciplinas de cunho científico e tecnológico, a partir de CTS ou com orientação CTS. Essa estruturação pode ser levada a cabo tanto por disciplinas isoladas como através de cursos multidisciplinares, inclusive por linhas de projetos pedagógicos interdisciplinares.
> - CTS Puro. Significa ensinar CTS onde o conteúdo científico passa a ter um papel subordinado. Em alguns casos o conteúdo científico é incluído para enriquecer a explicação dos conteúdos CTS em sentido estrito, em outros as referências aos temas científicos ou tecnológicos são apenas mencionadas, porém não são explicadas. (GARCÍA PALACIOS ET AL., 2001, p.147-148)

Aikenhead[3] (1994) apud Santos e Mortimer (2002) descreveu categorias para a inserção de conteúdos CTS no ensino de ciências de modo gradativo, isto é, à medida em que as categorias avançam, a proporção de conteúdos CTS aumenta em detrimento dos conteúdos puros de ciências. Dentre elas, destaca quatro como as representantes da visão mais comumente citada na literatura.

> - Incorporação sistemática do conteúdo de CTS ao conteúdo programático. Ensino tradicional de ciências acrescido de uma série de pequenos estudos de conteúdo de CTS integrados aos tópicos de ciências, com a função de explorar sistematicamente o conteúdo de CTS. Esses conteúdos formam temas unificadores.
> - Disciplina científica (Química, Física e Biologia) por meio de conteúdo de CTS. Os temas de CTS são utilizados para organizar o conteúdo de ciências e a sua sequência, mas a seleção do conteúdo científico ainda é a feita partir de uma disciplina. A lista dos tópicos científicos puros é muito semelhante àquela da categoria 3, embora a sequência possa ser bem diferente.
> - Ciências por meio do conteúdo de CTS. CTS organiza o conteúdo e sua sequência. O conteúdo de ciências é multidisciplinar, sendo ditado pelo conteúdo de CTS. A lista de tópicos científicos puros assemelha-se à listagem de tópicos importantes a partir de uma variedade de cursos de ensino tradicional de ciências.
> - Ciências com conteúdo de CTS. O conteúdo de CTS é o foco do ensino. O conteúdo relevante de ciências enriquece a aprendizagem. (AIKENHEAD 1994 APUD SANTOS E MORTIMER 2002, p.124-125)

Embora não haja consenso sobre as classificações, percebe-se que há mais semelhanças do que diferenças entre elas.

Além disso, Santos e Mortimer (2002) ressaltam a necessidade de se definir estratégias de ensino para a abordagem CTS. Na literatura é possível encontrar propostas variadas, desde palestras, fóruns e debates até a aplicação de temas científico-tecnológicos de relevância social, também chamados de temas sociais (SANTOS E MORTIMER, 2002) e temas controversos (FREITAS et al., 2006 e VIEIRA e BAZZO, 2007). Essas escolhas contribuem para que haja maior aproximação com o cotidiano do estudante, estimulando os processos de interação em sala de aula na busca de sugestões para a discussão de problemas socialmente importantes (SANTOS e SCHNETZLER, 2008; SANTOS e MORTIMER, 2009).

---

[3] AIKENHEAD, G.S. **What is STS science teaching?** In: SOLOMON, J., AIKENHEAD, G. STS education: international perspectives on reform. New York: Teachers College Press, p.47-59.

De acordo com Auler (2007), há um consenso no âmbito do enfoque CTS para a abordagem a partir de temas/problemas de relevância social. Desta forma, considerando-se que a abordagem CTS desenvolvida ao longo desse trabalho utilizou como estratégia de ensino o uso de temas, apontaremos as suas características com mais detalhes.

Para Santos e Mortimer (2002) e Santos (2007), a articulação CTS por meio de temas é uma oportunidade para evidenciar o poder de influência que os estudantes podem ter enquanto cidadãos, além das questões éticas e valores humanos relacionados à ciência e à tecnologia. Os mesmos autores apresentam critérios propostos por Ramsey (1993) para identificar um tema social relativo à ciência: "(1) se é, de fato, um problema de natureza controvertida, ou seja, se existem opiniões diferentes a seu respeito; (2) se o tema tem significado social e (3) se o tema, em alguma dimensão, é relativo à ciência e à tecnologia" (SANTOS e MORTIMER, 2002, p. 119).

Além disso, apresentam uma série de temas no contexto brasileiro e que podem ser trabalhados na perspectiva CTS considerando uma abordagem interdisciplinar.

Freitas et al. (2006) defendem o uso de temas controversos no ensino de ciências no sentido de fomentar competências argumentativas dos alunos. Destacam que esse é um aspecto fundamental da educação em ciência e apontam que a participação dos cidadãos em processos decisórios relacionados às questões científico-tecnológicas depende dessa compreensão. Os autores consideram ainda que essa dinâmica permite "a construção de uma imagem do conhecimento científico como um conjunto dinâmico, provisório e socialmente construído de possíveis explicações" (FREITAS et al., 2006, p.2).

Nesse viés, Vieira e Bazzo (2007, n.p.) consideram que a inserção de temas controversos no ensino de ciências "pode estimular a formação para a cidadania, motivando os estudantes a expressar suas opiniões, a saber argumentar e tomar decisões bem fundamentadas no que diz respeito ao desenvolvimento científico e tecnológico e suas implicações para a sociedade", além de contribuir para a superação de mitos científicos.

Flor (2007, n.p.) ao organizar casos simulados afirma que ao abordar questões relevantes e temas que os alunos vivenciam, "leva-os a problematizar seu cotidiano e ampliar os conhecimentos sobre estes temas".

Sendo assim, acredita-se que a abordagem CTS por meio de temas no ensino de ciências pode contribuir para uma melhor compreensão dos conteúdos científicos; entendimento sobre as relações CTS, incluindo valores éticos, sociais e pessoais, que irão refletir na formação de opinião dos estudantes, bem como, possíveis tomadas de decisão; tomada de consciência dos estudantes sobre as relações CTS, incluindo valores éticos, sociais e pessoais; além de tomada de decisões pautadas na construção de opiniões fundamentadas.

Para além das estratégias de ensino, Acevedo Díaz (1997, p.3), relata que: "há uma grande variedade de pontos de vista sobre como introduzir CTS no ensino. Por um lado, é preciso tomar decisões sobre como estruturar o curso. Por outro, é necessário esclarecer que dimensões conceituais CTS serão abordadas no mesmo."

Aikenhead (2005) destaca, entretanto, que a complexidade dessa abordagem merece atenção, pois ao mesmo tempo em que oferece um universo rico de alternativas para serem trabalhadas em sala de aula, sendo vantajoso para o ensino, também exige que o professor defina bem seus objetivos e caminhos para que não se perca nessa gama de possibilidades.

Por isso, não se pode perder de vista também a necessidade de uma mudança de postura do professor para com a sua prática docente.

Essa transformação, naturalmente, não se configura num processo simples, entretanto, conhecer as funções características do professor que deseja promover o ensino CTS auxilia o mesmo na sua evolução, como considera Acevedo Díaz (1996). Para o autor, não basta apenas informar aos alunos sobre os objetivos do ensino, mas faz-se necessário um esforço individual do docente no sentido de adequar a sua prática aos pressupostos da abordagem CTS.

Partindo desse princípio, o autor resumiu em um quadro algumas características representativas do papel do professor nesse tipo de ensino (Quadro 1).

Quadro 1 – Algumas características do professor que põe em prática a educação CTS

1- Dedicam tempo suficiente ao planejamento dos processos de ensino-aprendizagem e programação da sala de aula, bem como à avaliação do ensino.
2- São flexíveis com o currículo e a programação em si.
3- Fornecem um "clima" emocionalmente acolhedor e intelectualmente estimulante.
4- Têm grandes expectativas de si mesmos e de seus alunos, sendo capazes de incentivar, apoiar e promover as iniciativas destes.
5- Investigam ativamente, mostrando o desejo de aprender novas ideias, habilidades e ações e são capazes de aprender com seus colegas e alunos.

6- Provocam o surgimento de questões e temas de interesse em sala de aula e pedem fundamentos ou evidências para apoiar as ideias que estão sendo propostas. 7- Permitem a aplicação do conhecimento ao mundo real, com tempo para discutir e avaliar essas aplicações. 8- Contribuem para que os alunos vejam a utilidade da ciência e da tecnologia e lhes dão confiança em sua própria capacidade de usar a ciência e a tecnologia com sucesso, sem omitir suas limitações. 9- Não veem as paredes da sala de aula como uma fronteira, pois acreditam que o aprendizado deve transcendê-la. Eles educam para a vida e para viver.

Fonte: ACEVEDO DÍAZ; 1996, p.37. Adaptado.

Tendo isso em vista, compreende-se que a evolução do CTS nas ciências escolares é um processo complexo de desenvolvimento e, segundo Aikenhead (2005), cada país tem a sua própria história.

Nesse sentido, Chrispino et al. (2013) realizaram uma pesquisa preliminar sobre a área CTS no cenário brasileiro, identificando os trabalhos mais citados na Educação CTS, a partir de periódicos nacionais, com vista a compreender onde professores e alunos da área de ciência e tecnologia buscam sua fundamentação.

Como resultados da pesquisa, o texto descreve que são utilizados poucos autores considerados fundadores, além de enfatizar a endogenia na área. Entretanto, considera que as referências nacionais utilizadas são seguras e de qualidade, representando o conhecimento acumulado na área de CTS no ensino de ciências. Assim, os autores consideram que "é possível saber 'de onde viemos', e, por isso, será possível saber o que precisamos fazer para irmos para onde decidirmos ser necessário, a fim de consolidarmos a Educação CTS no ensino de ciência e tecnologia" (CHRISPINO et al., 2013, p.471).

Nesse contexto, Strieder e Kawamura (2017) realizaram uma pesquisa sobre parâmetros (racionalidade científica, desenvolvimento tecnológico e participação social) e propósitos (desenvolvimento de percepções, questionamentos e compromissos sociais) da educação CTS presentes no contexto brasileiro do ensino de ciências. Entretanto, ressaltaram que esses propósitos e parâmetros "devem ser entendidos como complementares em termos de formação científica, correspondendo a diferentes situações contextos escolares e possibilidades de atuação, ou mesmo, a momentos sucessivos de apropriação de intenções" (STRIEDER e KAWAMURA, 2017, p.49-50).

As autoras destacaram ainda que as intenções educacionais no CTS brasileiro seguem discursos estabelecidos e que é importante definir a intenção a ser seguida e almejada, mesmo que na prática não seja alcançada.

Desta forma, uma vez que os conhecimentos científicos tratados nesta tese foram abordados na disciplina de Química, considera-se fundamental compreender também os encaminhamentos desse ensino no contexto do CTS brasileiro.

Nesse sentido, justifica-se a importância e necessidade de realizar mais pesquisas nessa área. De acordo com Manassero, Vázquez e Acevedo Díaz (2001),

> Um dos desafios atuais mais importantes é conciliar a ciência e a tecnologia voltadas para a inovação produtiva com a preservação da natureza e a satisfação das necessidades sociais. Atualmente, o mundo apresenta benefícios e ameaças globais, bem como profundas desigualdades na distribuição da riqueza, custos ambientais e apropriação do conhecimento científico (MANASSERO, VÁZQUEZ e ACEVEDO DÍAZ, 2001, p.2)

Desta forma, acredita-se que introduzir a discussão sobre os princípios da QV, no ensino de Química, pode contribuir para que esse ensino não tenha um fim em si mesmo, mas seja um meio para a formação humana, crítica e cidadã dos indivíduos (SANTOS e SCHNETZLER, 2008), constituindo-se num exemplo de como a ciência e a tecnologia podem ser compreendidas enquanto construção social, conforme pressupõe a abordagem CTS.

2.3- Atividades experimentais no ensino de Química

Segundo Mansilla, Muscia e Ugriarolo (2013), para estudar a filosofia da QV não é necessária a criação de uma disciplina específica, visto que a sua concepção se encaixa em todas as áreas da Química, podendo ser introduzida, por exemplo, no desenvolvimento de experimentos de laboratório.

Os conceitos da QV começaram a ser difundidos na área de ensino a partir da experimentação, em cursos de pós-graduação (ZUIN, 2013 e ZANDONAI et al., 2014), principalmente em Química Orgânica, "em que são descritos roteiros de aulas práticas e explorados os aspectos sintéticos e mecanísticos de reações químicas, biocatálise, obtenção de óleos essenciais, em grande medida por meio da adaptação de um procedimento já existente" (ZANDONAI et al., 2014, p.75).

Entretanto, de acordo com Cunha e Santana (2012, p.642), ainda "são escassos os relatos de aulas desenvolvidas ou adaptadas para o ensino experimental de QV na graduação".

A experimentação encontra-se inserida no processo de desenvolvimento das Ciências da Natureza e, por isso, naturalmente pode ser utilizada como parte integrante do processo de ensino dessas Ciências.

Nesse sentido, acredita-se que a experimentação em química no ensino médio também pode contribuir para a inserção dos conceitos de QV, de modo adequado às especificidades desse segmento da educação. Mendes (2017) considera a introdução dessa temática em laboratórios químicos como momento e espaço proficuamente oportuno.

A literatura aponta que há um consenso entre professores e pesquisadores sobre a importância da experimentação no processo de ensino-aprendizagem (BASSOLI, 2014), assumindo papel relevante na construção do conhecimento ao incentivar pesquisa e investigação, além de contemplar diversas habilidades, como a cognição, sendo considerada um dos principais alicerces que estruturam o ensino de Química, (BASSOLI, 2014; LISBÔA, 2015; LEITE, 2018; GONÇALVES e GOI, 2020).

De acordo com Borges (2002, p.298),

> o laboratório pode, e deve ter um papel mais relevante para a aprendizagem de ciências. O fato de estarmos insatisfeitos com a qualidade da aprendizagem, não só de ciências, sugere que todo o sistema escolar deve ser continuamente repensado. [...] Da mesma forma, o que precisamos é encontrar novas maneiras de usar as atividades prático-experimentais mais criativa e eficientemente e com propósitos bem definidos, mesmo sabendo que isso apenas não é solução para os problemas relacionados com a aprendizagem de ciências. (BORGES, p. 298, 2002)

Por outro lado, devido à polissemia do termo experimentação, não há consenso sobre os tipos de abordagens de atividades experimentais, havendo diferentes enfoques e finalidades (LEITE, 2018; MORI e CURVELO, 2017). No entanto, é fundamental que os professores conheçam as diferentes possibilidades, bem como suas contribuições e limitações para que possam fazer escolhas mais adequadas, dentro de seus propósitos.

Bassoli (2014) se apropria da categorização proposta por Campos e Nigro (1999), que divide as modalidades em: demonstrações práticas, experimentos ilustrativos, experimentos descritivos e experimentos investigativos.

A primeira consiste em atividades realizadas pelo professor com o objetivo de apresentar algum fenômeno conhecido, porém sem a intervenção dos alunos. Os experimentos ilustrativos apresentam a mesma finalidade da demonstração, mas podem

ser realizadas pelos estudantes. Já os descritivos caracterizam-se em atividades baseadas no descobrimento de fenômenos pelos estudantes, porém sem a realização de testes de hipótese; enquanto os experimentos investigativos promovem grande participação dos alunos e, obrigatoriamente, a discussão de ideias e a elaboração de hipóteses, estimulando a interatividade intelectual, física e social.

Para Araújo e Abib (2003), o grau de direcionamento das atividades experimentais pode ser analisado segundo três abordagens discutidas a seguir: demonstração/observação, verificação e investigação.

As atividades experimentais demonstrativas têm como função principal ilustrar alguns aspectos dos conteúdos abordados em sala de aula, tendo o professor como principal agente do processo. Oliveira (2010) aponta que essa abordagem demanda pouco tempo e é útil quando não há recursos materiais ou espaço físico, por outro lado, afirma que a simples observação não favorece o envolvimento dos alunos e pode desmotivá-los. Nesse caso, "cabe ao professor enriquecer essa abordagem, proporcionando oportunidades para que os alunos questionem cada etapa, busquem relações com fenômenos conhecidos, sugiram hipóteses que justifiquem o processo observado [...]" (SANTOS e MENEZES, 2020, p.191).

As atividades práticas de verificação têm por finalidade verificar leis e teorias e seus limites de validade. Neste caso, os estudantes executam experimentos, sob a supervisão do professor, que corrige suas respostas (OLIVEIRA, 2010), ou seja, "são limitados a executar procedimentos experimentais com o intuito de comprovar um resultado pré-definido" (SANTOS e MENEZES, 2020, p.191). É uma abordagem que promove maior envolvimento dos alunos, possibilitando-os discutir sobre os conhecimentos científicos, apresentar suas concepções e seus questionamentos. Entretanto, é importante destacar que a condução dessa abordagem pode levar ao mito da ciência infalível.

Por fim, as atividades experimentais de investigação têm por objetivo interpretar problemas e propor soluções (ARAÚJO e ABIB, 2003). Os discentes têm participação mais ativa, uma vez que são convidados a pesquisar, planejar e executar atividades sob a orientação do professor. Segundo Gonçalves e Goi (2020), essa mediação pode auxiliar no desenvolvimento de habilidades cognitivas e argumentativas, além de promover a reflexão e estimular o pensamento crítico dos alunos.

"Nessa abordagem os conhecimentos prévios dos estudantes são tidos como base para a elaboração do novo conhecimento a partir da prática experimental" (SANTOS e MENEZES, 2020, p.192). Além disso, favorece o processo de criatividade e possibilita relacionar os conteúdos científicos com outros aspectos: sociais, políticos, econômicos e ambientais, por exemplo (ZÔMPERO e ZABURÚ, 2011; ANDRADE, 2011). Porém, necessitam de mais tempo para a sua realização.

Nesse sentido, Ferreira e Amaral (2015) realizaram um mapeamento de teses e dissertações da Capes, no período de 2002 a 2011, especificamente sobre ensino de Química experimental, com o objetivo de investigar os temas abordados nessas pesquisas. Os autores ressaltaram que há um predomínio de estudo sobre a aprendizagem dos estudantes a partir da perspectiva investigativa.

Tendo isso em vista, discute-se muito a respeito das contribuições da experimentação no processo de ensino-aprendizagem (OLIVEIRA, 2010): aprender conceitos científicos, motivar e despertar a atenção dos alunos, desenvolver a capacidade de trabalhar em grupo, desenvolver a iniciativa pessoal e a tomada de decisão, estimular a criatividade, aprender a analisar dados e propor hipóteses para os fenômenos, dentre outros.

Por outro lado, é preciso reconhecer as limitações que se configuram como entraves da experimentação no ensino de ciências (SANTOS e MENEZES, 2020). Para Bassoli (2014, p.580) existe "um abismo entre a importância atribuída às atividades práticas e a sua execução".

Uma pesquisa realizada por Gonçalves e Marques (2006), em textos de experimentação no ensino de Química da revista Química Nova na Escola (QNEsc), aponta algumas dessas contribuições, mas ressalta limitações acerca dessas abordagens experimentais, como: a pouca problematização sobre o modo de realizar esses experimentos; o ensino do método científico como objetivo, que pressupõe a observação independente de teoria e a motivação apenas no sentido de atender a curiosidade ingênua. Os autores ressaltam ainda que é preciso ter cuidado para não alimentar a visão dogmática e reducionista da Ciência, a teoria não é uma consequência dos resultados experimentais, visão considerada simplista também sob a perspectiva de Santos e Menezes (2020).

Além disso, outros mitos e crenças são apontados como obstáculos para a efetiva contribuição das atividades experimentais no ensino de Química: sua utilização exclusiva

para a comprovação de teorias, motivação dos alunos, apresentação de experimentos com caráter de espetáculo, a necessidade de um laboratório físico nas escolas, crença de que a execução é garantia de aprendizagem, entre outros (NOVAIS, 2018; LEITE, 2018; KUNDLASTCH, AGOSTINI, RODRIGUES, 2018).

Outra limitação apontada por Silva et al. (2009) diz respeito à contextualização das práticas de laboratório. Sua pesquisa, realizada a partir de textos de experimentação em Química da QNEsc, analisou como a contextualização é empregada nas atividades experimentais. Os resultados mostraram que a exemplificação de fatos cotidianos é a concepção mais utilizada pelos professores, tipo considerado reducionista, pois não estimula a formação crítica do indivíduo, já que não prevê o desenvolvimento de atitudes e valores. Entretanto, de acordo com os autores, o emprego da contextualização, mesmo que de modo limitado, contribui para a superação dos objetivos ingênuos de motivar ou comprovar teorias.

Sendo assim, reconhecer as potencialidades e as limitações que envolvem as atividades de experimentação é essencial para o processo de escolha da sua abordagem, bem como os objetivos e o contexto de sua realização (NOVAIS, 2018).

Nesse contexto, Bassoli (2014) destaca a importância da problematização das atividades práticas para que haja engajamento intelectual por parte dos estudantes. Francisco Junior, Ferreira e Hartwig (2008, p.34 e 36), discutem sobre a experimentação problematizadora e afirmam que “as atividades experimentais devem permear as relações ensino-aprendizagem” e que “a problematização direciona a curiosidade, promovendo a ingenuidade à criticidade”.

> A atividade experimental problematizadora deve propiciar aos estudantes a possibilidade de realizar, registrar, discutir com os colegas, refletir, levantar hipóteses, avaliar as hipóteses e explicações, discutir com o professor todas as etapas do experimento. Essa atividade deve ser sistematizada e rigorosa desde a sua gênese, despertando nos alunos um pensamento reflexivo, crítico, fazendo os estudantes sujeitos da própria aprendizagem. (FRANCISCO JUNIOR, FERREIRA e HARTWIG, 2008, p.36)

Desta forma, levando em consideração que a proposta da QV é se utilizar de práticas mais sustentáveis, espera-se por demandas de coleta e análise de informações, elaboração de hipóteses, discussão em grupo, dentre outras atividades de pesquisa. Por estas razões, as práticas experimentais realizadas nesta pesquisa foram pautadas nos

pressupostos da abordagem investigativa e com o intuito problematizador, no sentido de mostrar a relevância do que se aprende, buscando estabelecer um diálogo em torno dos conhecimentos.

No contexto da QV, Gonçalves et al. (2017) destaca a importância de abordar a dimensão ambiental na experimentação em química, e afirma que esse aspecto tem sido relatado pela literatura ao se empregar, por exemplo, reagentes derivados de recursos renováveis, bem como o uso de biomassa. Ainda sob esse viés, ressalta que avaliar os protocolos das práticas, a partir do uso de métricas, como as métricas holísticas de Adélio Machado (2014), tem se caracterizado como estratégia.

Segundo Adelio Machado (2014), o uso de métricas contribui para identificar aspectos químicos, ambientais e energeticamente negativos nos procedimentos e que tem potencial para serem modificados. Desta forma, o autor desenvolveu um conjunto de métricas verdes, as quais chamou de métricas holísticas, muito apropriadas para a avaliação de práticas experimentais realizadas em laboratórios de ensino.

Com o intuito de melhorar a prática da Química em relação aos seus efeitos prejudiciais para o ambiente e a saúde humana (RIBEIRO, COSTA e MAHADO, 2010), “essas ferramentas têm por base a análise do cumprimento individual dos 12 princípios da QV a partir de critérios previamente definidos, sendo os resultados da avaliação apresentados em gráficos [...] ou em tabelas” (RIBEIRO e MACHADO, 2012, p. 1879).

De acordo com Marques et al. (2020, p.1513)

> A preocupação com o uso do pensamento holístico para a implementação de QV como sistema tem se materializado na construção de métricas holísticas de verdura que avaliam simultaneamente várias dimensões da veracidade química, em oposição às métricas tradicionais que são unidimensionais e reducionistas (MARQUES ET AL., 2020, p.1513).

2.3.1 – Métricas Holísticas da Química Verde

As métricas holísticas foram concebidas a partir da percepção da QV enquadrada no pensamento sistêmico. Para Machado (2014),

> Um sistema, independente de ser natural ou artificial, envolve sempre como ingredientes básicos a matéria, a energia e a informação, que devem ser consideradas em conjunto, com visão global e dinâmica (holística), sem esquecer suas interações mútuas, [...]. Uma visão sistêmica da Química Verde tende a considerá-la como otimização conjunta do uso daqueles três constituintes para maximizar

> simultaneamente as respectivas produtividades – obter a maior quantidade possível de produto verde (principalmente em impactos negativos, na prática com impactos reduzidos) com quantidades tão pequenas quanto possível de cada um deles (MACHADO, 2014, p.168).

Assim, as métricas holísticas foram elaboradas com o intuito de serem ferramentas auxiliares na análise de processos químicos desenvolvidos a partir dos princípios da QV. Neste caso, avalia-se a verdura química que é "uma grandeza complexa e elusiva, constituída por variadas componentes de natureza química [...], ambiental [...], energética, etc." (RIBEIRO, COSTA e MACHADO, 2010, p.759).

Dentre as métricas holísticas indicadas para a avaliação da verdura química, destacam-se a Matriz Verde (MV), pois possui aspectos simples para a sua construção, e a Estrela Verde (EV), cuja elaboração é mais complexa, porém com resultados de melhor qualidade.

Para a realização das análises dos protocolos experimentais é necessário consultar as Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ), de modo a avaliar os perigos envolvidos na manipulação destes durante o experimento (para a saúde humana, o meio ambiente e potencial de acidente químico), além de obter informações sobre renovabilidade e degradabilidade dos produtos químicos e avaliar detalhes do procedimento como, o uso de reagentes em excesso, o uso de catalisador e condições de temperatura e pressão, dentre outros.

A partir desses dados, são atribuídas pontuações de acordo com a intensidade dos riscos (baixo (1), moderado (2) ou elevado (3)), como mostra a Tabela 10. Na época da concepção das métricas, utilizavam-se os critérios baseados nos símbolos dos riscos estabelecidos pela União Europeia (MACHADO, 2014), entretanto, atualmente empregam-se aqueles estabelecidos pelo Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS) (RIBEIRO, YUNES e MACHADO, 2014).

Tabela 10 – Critérios para avaliação dos riscos em métricas holísticas

Risco	**Indicação de risco**	**Classificação (MV)**	**Pontuação (EV)**
Riscos das substâncias envolvidas			
Saúde	Corrosivo; Tóxico; Muito tóxico	Elevado	3
	Prejudicial; Irritante	Moderado	2
	Nenhuma indicação	Baixo	1
Ambiente	Perigoso para o ambiente	Elevado	3
	Nenhuma indicação	Baixo	1

Riscos de acidente químico			
Saúde	Corrosivo; Tóxico; Muito tóxico	Elevado	3
	Prejudicial; Irritante	Moderado	2
	Nenhuma indicação	Baixo	1
Inflamabilidade	Muito inflamável; Extremamente inflamável	Elevado	3
	Nenhuma indicação	Baixo	1
Reatividade	Explosivo; Agente oxidante	Elevado	3
	Nenhuma indicação	Baixo	1
Degradabilidade e renovabilidade			
Degradabilidade	Não degradáveis ou que não possam ser tratados para se obter a sua degradação em produtos inócuos	Não se aplica	3
	Possam ser tratados para se obter a sua degradação		2
	Degradáveis a produtos inócuos		1
Renovabilidade	Não renováveis		3
	Renováveis		1

Fonte: MACHADO; 2014. Adaptado.

De posse de todas essas informações, inicia-se a avaliação sobre o cumprimento dos princípios de QV. Estes são avaliados dependendo do tipo de procedimento analisado. Nos casos de sínteses, os princípios 4 (obtenção de produto seguros) e 11 (análise em tempo real para a prevenção) não são contemplados, pois, segundo Machado (p.177, 2014) "em sínteses realizadas em laboratórios no contexto do ensino da Química, [...] não se costuma realizar a concepção de novos produtos químicos, à qual esses princípios se aplicam". A mesma interpretação é feita para analisar as atividades que não envolvem reações químicas. Neste caso, também são excluídos os princípios 2 (economia atômica), 3 (sínteses menos perigosas), 8 (menos derivatizações) e 9 (uso de catalisadores).

- Matriz Verde

Esta métrica baseia-se na análise SWOT (Strengts – pontos fortes; Weaknesses – pontos fracos; Opportunities – oportunidades e Threats – ameaças), que originalmente surgiu na área de gestão empresarial, mas atualmente é empregada em diversas outras (MACHADO, 2014) e se divide em duas análises: interna e externa. A primeira, cujos critérios estão sintetizados na Tabela 11, avalia os pontos fortes e fracos que, no caso da verdura química de um experimento, corresponde ao cumprimento ou não dos princípios da QV. Essa avaliação depende das características e dos riscos de todas as substâncias envolvidas no procedimento.

Tabela 11 – Critérios para a realização da análise interna.

Dimensões de análise	Ponto Forte	Ponto Fraco
P1 – Riscos dos resíduos para a saúde e ambiente.	Não há formação ou os riscos são baixos.	Resíduos com riscos moderados/elevados.
P2 – Excesso de reagentes e formação de coprodutos.	Excesso de reagentes ≤ 10% e não há coprodutos.	Excesso de reagentes >10% e/ou há coprodutos.
P3 – Riscos para a saúde e ambiente pelas substâncias.	As substâncias envolvidas têm riscos baixos.	Riscos moderados/elevados.
P5 – Riscos para a saúde por solventes e/ou auxiliares.	Não se usam solventes nem auxiliares ou o risco é baixo.	Solventes e/ou auxiliares com riscos moderados/elevados.
P6 – Pressão e Temperatura.	Condições ambiente.	Condições diferentes.
P7 – Uso de substâncias renováveis.	Todos são renováveis.	Pelo menos um não renovável.
P8 – Uso de derivatizações.	Não são utilizadas.	São utilizadas.
P9 – Uso de catalisadores.	Não são usados/baixo risco.	Riscos moderados/elevados.
P10 – Uso de substâncias degradáveis a produtos inócuos.	Todas são degradáveis a produtos inócuos.	Pelo menos um não degradável.
P12 – Riscos de acidente químico por substâncias.	Substâncias com baixo risco.	Riscos moderados/elevados.

Fonte: MACHADO; 2014. Adaptado.

Desta forma, inicia-se a avaliação do cumprimento dos princípios a partir das informações do inventário de substâncias. Quando não há risco ou este é baixo, considera-se o princípio como ponto forte. Por outro lado, se o risco for moderado ou elevado, o princípio entra no bloco dos pontos fracos.

A análise externa (Tabela 12) ocupa-se de identificar os fatores que influenciam esses pontos. Aqueles que contribuem para a satisfação do princípio são considerados oportunidades e os que dificultam são as ameaças.

Tabela 12 – Critérios para a realização da análise externa.

Oportunidades	Ameaças
Substituir as substâncias com riscos moderados/elevados por substâncias com riscos baixos. Eliminar o uso de solventes ou substituí-los por outros com risco baixo. Condições estequiométricas ou quase estequiométricas. Realizar à pressão e temperatura ambientes. Utilização de reagentes catalíticos com riscos baixos em vez de reagentes estequiométricos. Não usar derivatizações. Substituir as substâncias não degradáveis por outras degradáveis, com produtos inócuos.	Dificuldades de realização nas condições referidas nas oportunidades por razões econômicas ou por não existirem alternativas conhecidas.

Substituir as substâncias não renováveis por outras renováveis.

Fonte: MACHADO; 2014. Adaptado.

Após a obtenção de todos os resultados das análises, estes são sistematicamente organizados em uma tabela (matriz verde) que fornece uma visão global a respeito da verdura química do experimento (RIBEIRO e MACHADO, 2013).

É importante destacar que, embora esse processo avaliativo de esverdeamento de um protocolo experimental venha sendo difundido nos laboratórios de ensino de Química (RIBEIRO, COSTA e MACHADO, 2010; MACHADO, 2011; RIBEIRO e MACHADO, 2012; SANDRI e SANTIN FILHO, 2017; BOLZAN, GOMES e SANDRI, 2020), existem limitações, por exemplo: a natureza dos resíduos é limitada e nem sempre os protocolos indicam as quantidades de substâncias auxiliares utilizadas; os critérios de classificação têm níveis limitados e todos os princípios têm o mesmo peso; a análise envolve subjetividades (MACHADO, 2014).

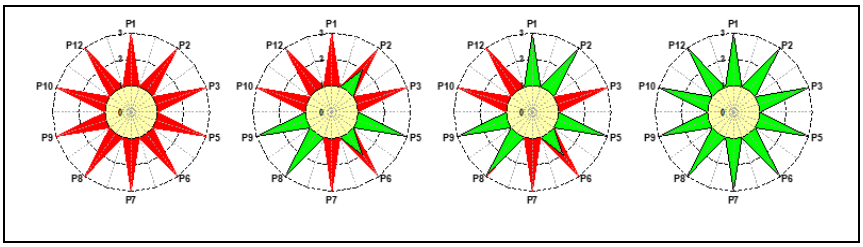
Apesar disso, a matriz verde é considerada uma ferramenta viável para a análise da verdura química de procedimentos experimentais, de fácil compreensão e execução, além de ser útil para a proposição de ajustes que tornem o processo mais verde. Ademais, pode ser aplicada em aulas de Química em instituições de ensino que não possuem espaço físico de laboratório.

- Estrela verde

A métrica da EV tem natureza gráfica, sendo constituída por uma estrela que possui tantas pontas quantos forem os princípios analisados. O gráfico apresenta níveis de aferição para a avaliação desses princípios: plenamente verde (3); moderadamente verde (2) e ausência total de verdura química (1) (MACHADO, 2014; RIBEIRO, COSTA E MACHADO, 2010).

Conforme os níveis são alcançados, as pontas da estrela vão sendo preenchidas, podendo variar do mínimo de verdura química ao máximo (Figura 7). Para corroborar com as informações gráficas, é possível calcular também o Índice de Preenchimento da Estrela (IPE) que corresponde a porcentagem da área verde do processo avaliado.

Figura 7 – Grau de verdura química crescente nas Estrelas Verdes



Fonte: http://educa.fc.up.pt

Para definir os níveis de pontuação é preciso elaborar o inventário das substâncias químicas envolvidas no procedimento analisado, avaliando os critérios que vão do risco elevado (pontuação 3) ao risco baixo (pontuação 1). A partir dessas informações, verifica-se, então, o cumprimento dos princípios de acordo com os critérios apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Pontuação dos princípios para a construção da EV.

Princípio	**Critérios**	**Pontuação**
P1 – Riscos dos resíduos para a saúde e ambiente.	Todos os resíduos inócuos (p=1). Pelo menos um resíduo p=2. Pelo menos um resíduo p=3.	3 2 1
P2 – Excesso de reagentes e formação de coprodutos.	Sem excesso de reagente (≤10%) e coproduto. Excesso de reagente (>10%) e sem coproduto. Excesso de reagente (>10%) e com coproduto.	3 2 1
P3 – Riscos para a saúde e ambiente pelas substâncias.	Todas as substâncias inócuas (p=1). Pelo menos uma substância p=2. Pelo menos uma substância p=3.	3 2 1
P5 – Riscos para a saúde por solventes e/ou auxiliares.	Sem solventes e auxiliares ou inócuos (p=1). Pelo menos um solvente ou auxiliar p=2. Pelo menos um solvente ou auxiliar p=3.	3 2 1
P6 – Pressão e Temperatura.	Temperatura e Pressão ambientes. Pressão ambiente e Temperatura entre 0ºC e 100ºC, com aquecimento ou arrefecimento. Pressão e temperatura distantes da ambiente.	3 2 1
P7 – Uso de substâncias renováveis.	Todos renováveis. Pelo menos um renovável, água ignorada. Nenhum renovável.	3 2 1
P8 – Uso de derivatizações.	Não se usam. Apenas uma. Várias.	3 2 1
P9 – Uso de catalisadores.	Não se usam ou são inócuos. Catalisadores p=2. Catalisadores p=3.	3 2 1

P10 – Uso de substâncias degradáveis a produtos inócuos.	Todos degradáveis a inócuos. Todas as não degradáveis tratadas a inócuos. Pelo menos uma não degradável nem tratada.	3 2 1
P12 – Riscos de acidente químico por substâncias.	Substâncias com risco p=1. Substâncias com risco p=2. Substâncias com risco p=3.	3 2 1

Fonte: MACHADO; 2014. Adaptado.

Então, essas pontuações são introduzidas em uma tabela programada[4] para realizar a construção da EV e calcular o IPE.

Desta forma, a EV possibilita identificar quais princípios não são atendidos no processo, podendo o avaliador focar nos aspectos mais problemáticos, em vista de cumprir plenamente o que é indicado ou minimizar as limitações, traçando novas estrelas que podem ajudar na decisão final sobre a melhor opção de verdura química.

> A estrela verde tal como a matriz verde, permite identificar os princípios cumpridos ou não, mas como envolve uma análise mais profunda, com três níveis de gradação do cumprimento, é mais sensível a alterações que levem a um cumprimento parcial dos princípios, embora a sua construção seja mais complexa (MACHADO, 2014, p.219-220).

Tendo isso em vista, acredita-se que abordar a dimensão ambiental nas atividades experimentais deve ser cada vez mais explorada no âmbito do ensino (SANTOS ET AL., 2021), de modo a ampliar o número de aulas adaptadas a esse contexto de perspectiva sustentável. Além disso, a abordagem de ensino CTS como aporte do processo de ensino-aprendizagem pode contribuir para a melhor compreensão dos conhecimentos científicos, bem como favorecer a aplicação do que foi estudado.

> No que concerne ao ensino da QV sob a égide dessa vertente, temos a superação da mera inserção dos seus princípios às atividades experimentais e em momentos pontuais, e passamos a ter sua forte vinculação com as discussões que envolvem a ciência, a tecnologia, a sociedade e o ambiente, oportunizando assim uma educação ambiental crítica e uma formação mais voltada à cidadania. (SANDRI e SANTIN FILHO, 2019, p.37)

[4] A tabela programada para construir a EV pode ser obtida por meio do endereço eletrônico http://educa.fc.up.pt

Sendo assim, destaca-se que a inserção de conceitos de QV relacionando teoria e prática por meio das relações CTS pode ser um caminho para que os estudantes desenvolvam uma melhor compreensão de mundo, considerando o cenário atual que pressupõe cada vez mais cuidados com o meio ambiente.

3- ASPECTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

A tese trata de uma pesquisa qualitativa, do tipo estudo de caso. Esta metodologia, embora muito utilizada em pesquisas na área de ensino, não apresenta consenso na concepção e realização do método (ALVES-MAZZOTTI, 2006; YAZAN, 2016). Desta forma, este trabalho baseou-se nas visões metodológicas que mais se aproximam epistemologicamente dos pressupostos do ensino CTS, seguindo, portanto, as orientações dos metodólogos Stake (2009) e Merriam (2009), que consideram a natureza e a produção do conhecimento como construções sociais.

O foco de interesse foi o processo de inserção dos conceitos de QV em aulas de nível médio, por meio da experimentação em química e abordagem de ensino CTS. O trabalho foi desenvolvido no CEFET/RJ, campus Maracanã, e teve como público-alvo estudantes do ensino médio e do ensino médio e técnico integrado. A instituição escolhida, além de ser o local de trabalho da autora da tese, permite a atuação em ensino, pesquisa e extensão e oferece um laboratório de Química estruturado.

A temática verde e a experimentação em química foram utilizadas como eixos norteadores para a elaboração de um curso de extensão sobre QV, oferecido ao público interno e externo à instituição. Optou-se pela extensão devido à flexibilidade para: definir o quantitativo de alunos participantes, oferecer aos alunos do ensino médio regular de instituições externas e abordar os conteúdos químicos, não havendo necessidade de seguir a ordenação prevista no currículo dos cursos.

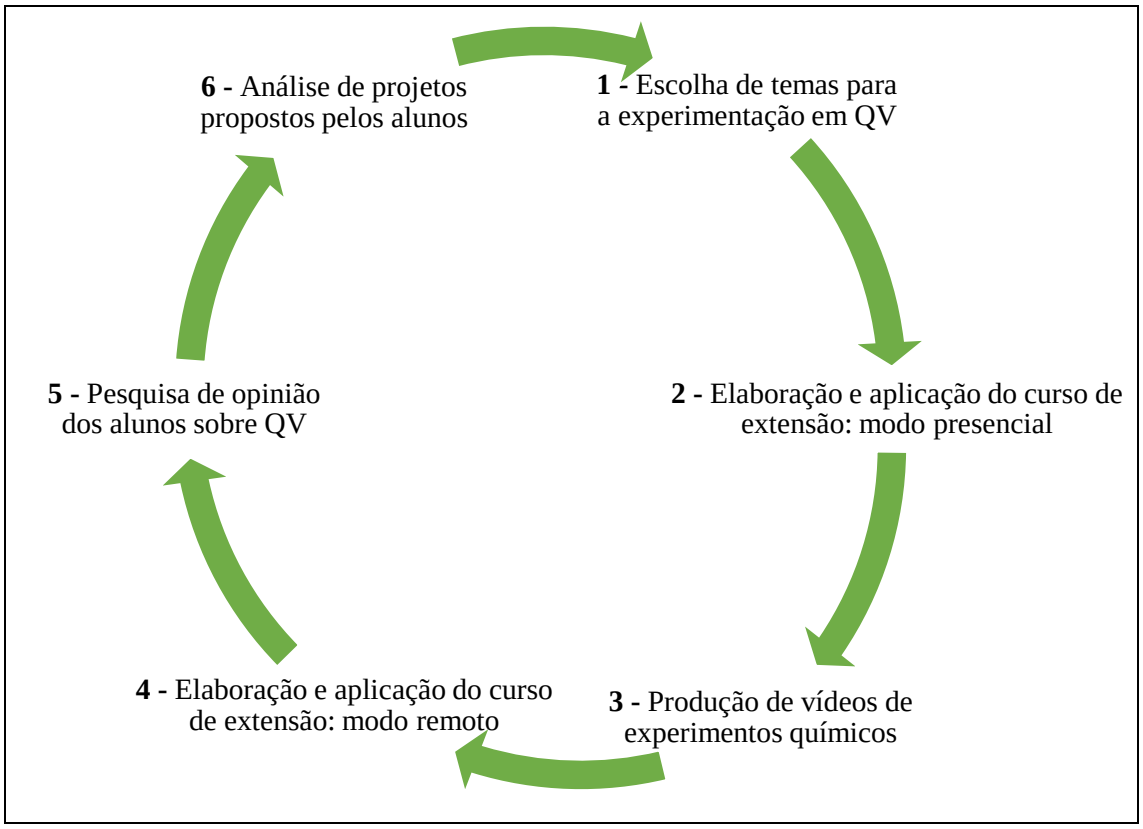
A seleção da amostra contou com dois grupos de participantes: (1) primeira turma (piloto), na qual participaram 20 alunos da instituição, numa versão presencial e de 20 horas de duração e (2) segunda turma, com 12 alunos do CEFET/RJ e 2 do Colégio Pedro II, na versão remota e 70 horas de duração. A participação dos alunos foi voluntária e, por isso, a diferença no número de inscritos e a carga horária da segunda turma foi modificada após análise dos resultados da primeira.

Como instrumentos de coleta de dados foram utilizados a observação, os projetos elaborados pelos estudantes e questionários do tipo pré-teste e pós-teste.

3.1- Delineamento da pesquisa

A Figura 8 apresenta o caminho metodológico percorrido ao longo do trabalho.

Figura 8 – Caminho metodológico da pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora.

3.1.1- Escolha de temas para a experimentação em Química Verde

Inicialmente foi realizada uma pesquisa do estado da arte sobre QV no Ensino de Ciências, a partir da análise de rede social de artigos publicados em periódicos nacionais, cuja discussão foi apresentada anteriormente. A análise das palavras-chave nessa pesquisa foi utilizada como método de identificação de temas de grande relevância abarcados pela QV.

Na sequência, levando-se em consideração que os assuntos a serem escolhidos, nesta etapa de desenvolvimento da tese, seriam abordados no contexto da experimentação em química para o ensino médio e técnico, os resultados dessa análise foram complementados por outros estudos semelhantes apresentados na literatura, como os de Farias e Fávaro (2011) e Marcelino, Pinto e Marques (2020), que apontaram temas constantemente abordados na área de QV.

Sendo assim, ao final desta etapa, os temas escolhidos para a abordagem foram: biocombustíveis, produtos naturais e biomassa.

3.1.2- Elaboração e aplicação do curso de extensão: modo presencial

Nesta etapa, um curso de extensão sobre QV foi estruturado com o objetivo de estudar sobre conceitos da QV a partir da experimentação química, visando a atender alunos do ensino médio e técnico do CEFET/RJ, bem como estudantes da comunidade externa. O curso ocorreu em 2019 durante a Semana de Ensino, Pesquisa e Extensão (Sepex) do CEFET/RJ e teve sua ementa elaborada contendo a descrição de todos os assuntos abordados em cada tema de QV, bem como dos experimentos e conteúdos químicos estudados durante o curso (Apêndice 1). A metodologia do curso abrangeu uma sequência didática de 5 aulas, que foram ministradas no laboratório de Química da instituição, campus Maracanã, com 3 horas de duração por dia e 5 horas para a elaboração do trabalho final, totalizando 20 horas, como mostra a Tabela 14.

Tabela 14 – Carga horária do curso de extensão em QV - Presencial

AULA	CONTEÚDOS	EXPERIMENTOS	TEMPO DE AULA (h)
1	Óleos Essenciais	Extração de óleo essencial	3
2	Corantes Naturais	Extração de corante natural	3
3	Biodiesel	Transesterificação de óleo residual	3
4	Sabão	Saponificação de óleo residual	3
5	Métricas em QV	----	3
Trabalho Final			5
Total			**20 h**

Fonte: Elaborado pela autora.

Os experimentos químicos foram selecionados de acordo com os temas de QV definidos anteriormente. Os protocolos, descritos no Apêndice 2, foram retirados da literatura e seguidos na íntegra ou adaptados após testagem prévia no laboratório de Química do CEFET/RJ, campus Maracanã.

No final do curso, os discentes que tiveram frequência igual ou superior a 75% e entregaram o trabalho final – uma proposta de projeto verde para ser desenvolvido na sua instituição de ensino – receberam um certificado de participação emitido pelo Departamento de Extensão e Assuntos Comunitários (DEAC) do CEFET/RJ.

3.1.3- Produção de vídeos de experimentos químicos

Devido a pandemia da COVID-19, as aulas presenciais foram suspensas em março de 2020 e assim permaneceram até o mês de abril de 2022. Por esse motivo, optou-se por

elaborar uma nova versão para o curso de extensão em modo remoto e, para isso, foram produzidos vídeos dos experimentos químicos. Levando-se em consideração a experiência vivenciada na primeira turma do curso, bem como as temáticas envolvidas no seu processo de elaboração, novos experimentos foram selecionados e encontram-se apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Experimentos selecionados para o estudo sobre QV.

TEMÁTICAS DE QV	EXPERIMENTOS
Biomassa	• Reciclagem de papel
	• Bioplástico de casca de laranja
	• Sabão: saponificação de óleo residual
	• Sabão: teste de solubilidade
	• Sabão: alcalinidade e detergência
	• Sabão: tensão superficial
Produtos Naturais	• Corantes Naturais: extração por solvente
	• Corantes Naturais: indicadores ácido/base
	• Corantes Naturais: cromatografia em camada delgada
	• Óleos Essenciais: hidrodestilação
	• Óleos Essenciais: isolamento do óleo
Biocombustíveis	• Etanol: determinação da concentração de sacarose no caldo de cana
	• Etanol: diluição do caldo de cana
	• Etanol: fermentação do caldo de cana
	• Etanol: destilação do mosto
	• Etanol: identificação de álcool
	• Biodiesel: teste de insaturação em óleos e gordura
	• Biodiesel: transesterificação via catálise homogênea básica
	• Biodiesel: viscosidade relativa

Fonte: Elaborado pela autora.

Os protocolos dos experimentos foram retirados da literatura e seguidos na íntegra ou adaptados, sendo previamente testados no laboratório de Química do CEFET/RJ, campus Maracanã. Posteriormente, a execução dos procedimentos experimentais foi gravada pela autora da tese e uma professora de Química colaboradora, e o material produzido foi editado pelo departamento de mídias da instituição, resultando em um conjunto de 19 vídeos de experimentação em química[5].

[5] Os vídeos encontram-se disponíveis no link https://drive.google.com/drive/folders/1LCJWzDCcE-lGLY1XCWIi-0c0xDS4yqRi?usp=sharing

3.1.4- Elaboração e aplicação do curso de extensão: modo remoto

Neste momento, o curso de extensão sobre QV foi reestruturado visando a atender remotamente os alunos participantes. Uma nova ementa foi elaborada (Apêndice 3) e a nova sequência didática foi organizada em dois módulos: o primeiro abordou processos que não envolvem reações químicas e o segundo apresentou processos com reações químicas. Os módulos contaram com 18 aulas síncronas e 14 atividades assíncronas, totalizando 70 horas de duração, como mostra a Tabela 16.

Tabela 16 – Carga horária do curso de extensão em QV - Remoto

MÓDULO	CONTEÚDO	TEMPO SÍNCRONO (h)	TEMPO ASSÍNCRONO (h)
I	Introdução	1,5	-
	Papel	3	2
	Corantes Naturais	2,5	1,5
	Óleos Essenciais	2	1,5
	Bioplásticos	1,5	1
	Métricas em QV	1,5	-
II	Trabalho Parcial	1,5	18
	Etanol	3,5	2,5
	Biodiesel	3,5	2
	Sabão	3,5	2,5
	Pegada Ecológica	1,5	1
	Trabalho Final	1,5	11
TOTAL – 70 h		**27 h**	**43 h**

Fonte: Elaborado pela autora.

O tempo síncrono apresentado na Tabela 16 corresponde à duração das aulas que ocorreram em tempo real em um espaço virtual. Estas aconteceram duas vezes por semana num período de 90 minutos cada uma e foram realizadas no aplicativo de videoconferência *Google Meet*. A coluna de horas assíncronas corresponde ao tempo gasto pelos estudantes para acessar e estudar o conteúdo disponibilizado nas plataformas virtuais. Neste caso, foram utilizados dois aplicativos: o *Google Classroom* para os estudantes da comunidade externa e o *Microsoft Teams* para os alunos do CEFET/RJ, pois é a plataforma utilizada pela instituição. Estas horas correspondem a média dos tempos individuais gastos na execução de cada atividade e foram obtidas a partir de uma pesquisa feita com os participantes do curso.

A dinâmica do curso consistiu em enviar as atividades assíncronas – trabalhos, vídeos disponíveis na internet sobre os temas definidos, vídeos dos experimentos químicos e seus roteiros, que continham os protocolos experimentais e questões para

pesquisa – e realizar a discussão posteriormente nas aulas síncronas. No final do curso, receberam um certificado de participação emitido pelo DEAC, os discentes que tiveram frequência igual ou superior a 75%, apresentaram o trabalho parcial – resumo sobre práticas verdes realizadas na sua área técnica ou em outra de livre escolha e o trabalho final – uma proposta de projeto verde para ser desenvolvido na sua área técnica ou em prol da sua instituição de ensino.

3.1.5- Pesquisa de opinião dos alunos sobre Química Verde

A opinião dos estudantes sobre QV foi investigada a partir de questionários pré-teste e pós-teste, a fim de verificar seus pensamentos prévio e posterior ao curso de extensão. Para isso, foi solicitado aos discentes que identificassem nominalmente seus questionários. Esta etapa ocorreu na versão remota do curso e foi disponibilizada aos participantes por meio de um formulário virtual. Após a comparação entre as respostas do pré-teste e do pós-teste, os alunos foram entrevistados com o intuito de esclarecer os motivos que os levaram a mudar ou manter sua opinião a respeito das questões.

3.1.6- Análise de projetos propostos pelos alunos

Os textos dos projetos propostos pelos estudantes no final dos cursos foram avaliados pelo método da análise textual discursiva, podendo ser fonte de inspiração para a inserção de novos temas em turmas futuras.

"A análise textual discursiva é uma abordagem de análise de dados que transita entre duas formas consagradas de análise na pesquisa qualitativa que são a análise de conteúdo e a análise de discurso" (MORAES e GALIAZZI, 2006, p.118). Tem por objetivo ampliar a compreensão sobre os fenômenos estudados a partir da análise das informações obtidas (*corpus*), que neste caso, constituiu-se do conjunto de projetos verdes propostos pelos estudantes (produções textuais elaboradas no final do curso).

Moraes e Galiazzi (2014) afirmam que a abordagem possibilita exprimir sentidos resultantes das variadas interpretações que decorrem das leituras de um texto. Além disso, entendem que toda leitura é feita a partir de uma perspectiva teórica, ou seja, os significados construídos ao longo da análise têm fundamentos nos pressupostos teóricos utilizados pelo leitor. Desta forma, são levados em conta a subjetividade do pesquisador, suas teorias e visão de mundo.

A abordagem constitui-se em um ciclo de unitarização, categorização e comunicação.

> Unitarizar um texto é desmembrá-lo, transformando-o em unidades elementares, correspondendo a elementos discriminantes de sentidos, significados importantes para a finalidade da pesquisa, denominadas de unidades de sentido ou de significado (MORAES e GALIAZZI, 2014, p.49).

Sendo assim, após o processo de leitura, os textos produzidos foram fragmentados em unidades de sentido, ou seja, elementos de significados referentes à elaboração de um projeto verde. Cada fragmento foi codificado para que pudesse ser identificado dentro do *corpus*. Esse primeiro passo é considerado "um momento de intenso contato e impregnação com o material da análise, envolvimento que é essencial para a emergência de novas compreensões" (MORAES, 2003).

A unitarização foi realizada de acordo com critérios semânticos, ou seja, baseados "no significado, no estudo da significação das palavras e das frases. Uma análise semântica se direciona aos temas e aos significados que os textos possibilitam construir" (MORAES e GALIAZZI, 2014, p.59).

Após a etapa de desconstrução do texto, novas relações começaram a ser estabelecidas caracterizando o processo de categorização. Neste, as unidades de sentido semelhantes foram articuladas dando origem a grupos chamados de categorias.

> A categorização é um processo de criação, ordenamento, organização e síntese. Constitui, ao mesmo tempo, processo de construção de compreensão dos fenômenos investigados, aliada à comunicação dessa compreensão por meio de uma estrutura de categorias. (MORAES e GALIAZZI, 2014, p.78)

A elaboração das categorias pode ocorrer de duas formas: *a priori*, isto é, quando são predeterminadas, ou por análise indutiva, na qual as categorias emergem durante o processo de leitura. Neste trabalho, optou-se pela segunda forma, construindo gradativamente e intuitivamente o pensamento a respeito das unidades de sentido, constituindo assim a categorização.

É importante destacar que as categorias precisam apresentar validade contextual, ou seja, ser coerentes com os objetivos da pesquisa.

Sendo assim, finalizada esta etapa, novas compreensões acerca dos textos analisados emergiram, possibilitando a construção de argumentos organizados em um novo texto chamado de metatexto.

4- O CURSO DE EXTENSÃO “EXPERIMENTAÇÃO EM QUÍMICA VERDE”

4.1- Sobre a unidade escolar, os alunos participantes e a ação de extensão

O CEFET/RJ é uma escola centenária que “se compreende como um espaço público de formação humana, científica e tecnológica” (CEFET/RJ, 2020) e oferece cursos de ensino médio e técnico integrados, pós-médio, tecnológicos, de graduação e pós-graduação *lato sensu* e *stricto sensu* (mestrado e doutorado).

O ingresso ao ensino médio e técnico integrado dos alunos participantes da pesquisa ocorreu por meio de processo seletivo constituído por duas fases: (1ª – prova objetiva de Língua Portuguesa, Matemática, Ciências e Estudos Sociais; 2ª – prova discursiva de Matemática e uma Redação). A classificação se deu em função de ordem decrescente de pontuação, sem aproveitamento nulo em qualquer prova e área do conhecimento. Metade das vagas foram disponibilizadas para ampla concorrência e a outra metade para cotistas que cursaram todo o ensino fundamental em uma escola pública de ensino.

A escola oferece programas de assistência estudantil e programas de bolsas diversas oferecidas em processos seletivos próprios. Além disso, a unidade Maracanã possui uma coordenação pedagógica que atua mediando a relação entre estudantes e professores e uma divisão de apoio pedagógico constituída por pedagogos, psicólogos e assistentes sociais que trabalham em conjunto na mediação entre a organização de vida pessoal e escolar do estudante.

Tendo em vista que, de acordo com a Lei 12.772/2012[6], a carreira EBTT abarca a tríade ensino, pesquisa e extensão, optou-se por desenvolver o trabalho a partir de um curso de extensão.

Compreende-se que realizar esse tipo de atividade possibilita: oportunizar a participação de alunos de instituições externas; atender estudantes de séries e/ou turnos diferentes em uma única turma; organizar os conteúdos químicos a partir de sua emersão ao longo dos contextos temáticos, sem a necessidade de seguir a ordenação curricular; e poder trabalhar com um grupo pequeno de alunos, fator que favorece a interação aluno-professor e o acompanhamento dos estudantes ao longo das aulas, bem como a avaliação dos resultados.

---

[6] Disponível em https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12772-28-dezembro-2012-774886-normaatualizada-pl.pdf, acesso em 07 dez. 2022.

A esse tipo de ação, enquanto atividade formadora em potencial, tem sido atribuída a dimensão pedagógica, que viabiliza a interação dialógica entre saberes diversos, promovendo assim sentidos também diversos (COELHO, 2014; RIBEIRO, PONTES e SILVA, 2017). “Como instrumento de aprendizagem e geração de conhecimentos, a extensão pode contribuir para o desenvolvimento de seus estudantes e profissionais” (COELHO, 2014, p.11)

O CEFET/RJ segue, tanto na EBTT quanto no ensino superior, a concepção e os objetivos das ações de extensão previstos na Política Nacional de Extensão Universitária (2012), aprovada pelo Fórum de Pró-reitores de Extensão das Universidades Públicas Brasileiras (FORPROEX), que leva em consideração o princípio da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão e conceitua a extensão universitária como “um processo interdisciplinar, educativo, cultural, científico e político que promove a interação transformadora entre Universidade e outros setores da sociedade” (FORPROEX, 2012, p.28).

O documento apresenta também objetivos que exaltam a importância de realizar atividades de extensão, dentre eles:

> - Contribuir para que a Extensão Universitária seja parte da solução dos grandes problemas sociais do País;
> - Possibilitar novos meios e processos de produção, inovação e disponibilização de conhecimentos, permitindo a ampliação do acesso ao saber e o desenvolvimento tecnológico e social do País;
> - Priorizar práticas voltadas para o atendimento de necessidades sociais (por exemplo, habitação, produção de alimentos, geração de emprego, redistribuição de renda), relacionadas com as áreas de Comunicação, Cultura, Direitos Humanos e Justiça, Educação, Meio Ambiente, Saúde, Tecnologia e Produção, Trabalho;
> - Estimular a educação ambiental e o desenvolvimento sustentável como componentes da atividade extensionista. (FORPROEX, 2012, p.9-10)

O CEFET/RJ incentiva a promoção de diversas ações de extensão como programas, projetos, cursos e eventos, dentre outros, e destaca como objetivos: “reafirmar a Extensão Universitária como processo acadêmico definido e efetivado em função das exigências da realidade, além de indispensável na formação do estudante, [...] e no intercâmbio com a sociedade (CEFET/RJ, 2020, n.p.).

Desta forma, acredita-se que a elaboração de um curso de extensão promoveu meios propícios para o ensino da QV em um ambiente favorável ao desenvolvimento científico.

4.2- Os temas abordados sobre QV

Um dos pilares para a construção de um mundo mais verde e sustentável é a formação de uma sociedade consciente das demandas do planeta (CGEE, 2010) e isso pressupõe mudança de hábitos individuais e coletivos. Nesse contexto, acredita-se que estudar sobre QV é essencial para a formação dessa consciência nos indivíduos, como modo de ver e entender os fenômenos naturais e artificiais, além da produção da Ciência/Química. No entanto, cabe a reflexão sobre como alcançar essa finalidade no ensino médio e técnico.

Estudos apontam que o ensino meramente propedêutico não tem contribuído para a formação de estudantes capazes de resolver questões relacionadas à vida (AULER e DELIZOICOV, 2001). Os autores consideram que a abordagem conceitual precisa ser superada e sugerem a abordagem temática como uma possibilidade para o desenvolvimento do pensamento crítico e a tomada de decisões no futuro, além de quebrar os mitos da ciência.

Sendo assim, a primeira etapa deste trabalho foi pesquisar sobre temas de relevância socioambiental na área de QV, que pudessem ser discutidos com os discentes durante o curso de extensão, com potencial para promover o desenvolvimento das habilidades citadas de modo, a contribuir para a sua formação nesse segmento da Educação Básica.

Desta forma, foi realizado inicialmente um levantamento de palavras-chave de publicações sobre o ensino de QV em periódicos nacionais (BRANDÃO et al., 2018), cujo estudo se deu a partir da análise de redes sociais, apresentada na seção de revisão da literatura desta pesquisa.

Esse estudo indicou dois termos de grande relevância na rede e muito pertinentes no ensino de QV: biocombustível e sustentabilidade. Dentre eles, considera-se que biocombustível, além de ser um tema de destaque na área pesquisada, representa também uma temática experimental muito aplicada nos laboratórios de Química.

A relevância desta palavra-chave na pesquisa pode ser explicada pela posição de destaque do Brasil em relação a essa área no cenário mundial; é o segundo país maior produtor de etanol e biodiesel no mundo (BORTOLETO et al., 2020). De acordo com relatórios de agências internacionais, até 2030 teremos um aumento de 53% na demanda de energia (SHAHID e JAMAL, 2011). Aliado a esse fato, as dificuldades enfrentadas pela indústria de petróleo como o aumento do custo, a depleção dos recursos naturais e a poluição ambiental, contribuem para que o Brasil e demais países se preocupem em diversificar cada vez mais a sua matriz energética. Segundo Lemos, Seidl e Guimarães (2021, p.6), "aumentar a participação de biocombustíveis na matriz energética para atender o Acordo de Paris e reduzir a emissão de CO_2, é altamente desejável".

Desta forma, acredita-se que este é um tema de grande relevância social na área de QV, além de possibilitar uma abordagem experimental e, por isso, foi selecionado para discussão no curso de extensão.

Nesse contexto, a literatura apresenta alguns estudos sobre os assuntos mais abordados em QV, como os de Farias e Fávaro (2011); Marcelino, Pinto e Marques (2020) e Marques e Machado (2021).

Os dois primeiros autores apresentaram um panorama geral sobre os primeiros vinte anos da QV, a partir da análise de artigos publicados em periódicos selecionados na base de dados da CAPES, no período de 1991 a maio de 2010, e que continham no título a expressão "Green Chemistry" ou "Química Verde".

O trabalho destaca a catálise como um dos temas mais abordados nos artigos investigados e atribui esse fato às características dos catalisadores, como a seletividade, eficiência e importância econômica, além de ser um dos princípios que compõem a QV. Outros três temas são apontados por Farias e Fávaro (2011) nesta pesquisa: síntese orgânica, reações orgânicas e química de produtos naturais, que são de importância relevante para a indústria farmacêutica, utilizadora de grande quantidade de substâncias químicas como princípios ativos e auxiliares e considerada muito poluidora devido à geração de grande quantidade de resíduos (MACHADO, 2014). Por isso, é um setor que demanda rotas sintéticas mais limpas.

Marques e Machado (2021), em artigo no qual apresentam uma visão integrada sobre a QV ao longo de 25 anos, destacam alguns temas muito abordados nesse período, como o uso de biomassa, recursos renováveis, a busca por eficiência energética, potencial

de solventes mais adequados, catálise, métricas, economia circular etc. Ressaltam que práticas voltadas para a minimização da geração de resíduos vêm sendo incorporadas pela indústria há algum tempo, fato que vem contribuindo para o amadurecimento dessas atividades em prol da sustentabilidade.

Desta forma, dentre os temas ressaltados, considerou-se a química de produtos naturais muito relevante para ser tratada com os estudantes dos ensinos médio e técnico no curso de extensão sobre QV. Além de sua aplicação na área farmacológica e medicinal, destaca-se também sua utilização nas áreas alimentícia, biológica, de ecologia e de cosméticos, por exemplo. Segundo Berlinck et al. (2017, p.706), "a importância dos produtos naturais hoje na sociedade moderna é indiscutível" e o Brasil se situa em posição privilegiada devido à sua vasta biodiversidade.

Nesse sentido, nota-se que as pesquisas sobre o uso de biomassa são uma tendência mundial, fato corroborado pela investigação de Marcelino, Pinto e Marques (2020), na qual esse tema aparece como uma das especialidades mais pesquisadas em QV, além de solventes, líquidos iônicos e catálise. Neste artigo, os autores apresentam um panorama da pesquisa em QV de 1990 a 2017, na qual comparam a relevância da pesquisa de diferentes frentes na área e apontam tendências emergentes.

Levando-se em consideração a diversidade biológica do nosso país, este encontra-se também em posição de destaque "para assumir a liderança no aproveitamento integral das biomassas" (CGEE, 2010), que são materiais renováveis com potencial para a geração de energia e menor liberação de gases poluentes. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e soja e o terceiro maior produtor mundial de milho (LEMOS, SEIDL e GUIMARÃES, 2021), fatos que o tornaram "um polo de atração mundial na produção de biocombustíveis" (ANTAR et al., 2021).

Sendo assim, considera-se que todos os temas de QV destacados nas pesquisas apresentam possibilidades densas de estudo. No entanto, reconhecemos como essencial discutir sobre o uso de biomassa devido ao potencial brasileiro de produção e consequências econômicas, sociais e ambientais de seu uso, como: aumento da diversificação da matriz energética, geração de empregos e utilização de matéria-prima renovável, por exemplo. Portanto, esse foi o último tema escolhido para abordagem no curso de extensão.

4.3- Primeira versão do curso de extensão – modo presencial

4.3.1- Experimentação Química

Além da abordagem temática, o curso foi elaborado na perspectiva da experimentação química, como porta de entrada para o ensino de conceitos de QV e articulação com os conteúdos de Química previstos no ensino médio e técnico. Desta forma, os estudantes foram introduzidos no universo deste campo de pesquisa, sob a perspectiva CTS, em vista de problematizar possíveis contribuições para a sua formação técnica.

De acordo com os temas definidos na etapa anterior, foram selecionados os seguintes experimentos: extração de óleo essencial por solvente; extração de corantes naturais por solvente; transesterificação e saponificação de óleo residual de fritura, conforme apresentados na metodologia e cujos roteiros encontram-se descritos no Apêndice 2.

4.3.2- Relato da experiência – modo presencial

A primeira versão do curso foi realizada durante a semana de pesquisa, ensino e extensão do CEFET/RJ, pois é um período em que as aulas regulares ficam suspensas para que os estudantes possam participar das atividades oferecidas. As aulas ocorreram no laboratório de Química da instituição com a participação de 20 alunos dos cursos de eletrônica (7) e eletrotécnica (13), campus Maracanã – 16 da primeira série e 4 da segunda série – organizados em grupos aleatórios de 4 estudantes por bancada. Os cinco encontros aconteceram na parte da manhã e num período de 3 horas diárias. Todas as práticas foram realizadas pelos discentes. A inscrição foi voluntária e, por isso, a diversidade de cursos e séries foi aleatória e não sofreu interferência da autora.

No início da primeira aula, os alunos foram questionados sobre o que entendiam a respeito de QV e, como forma de analisar seus conhecimentos prévios, eles fizeram um primeiro mapa mental, no qual expressaram as suas ideias. A Figura 9 apresenta uma nuvem de palavras construída a partir dos termos escritos pelos discentes em seus mapas.

A partir dos termos escritos pelos discentes em seus mapas, construiu-se uma nuvem de palavras (Figura 9) por meio da plataforma online *Mentimeter*[7]. Esta constitui-

[7] https://www.mentimeter.com/pt-BR

se em uma representação visual de palavras, por meio de sua relevância no material analisado. A relevância, por sua vez, é regida pela frequência em que as palavras aparecem nesse material. Desta forma, as palavras escritas com letras maiores na nuvem são aquelas que tiveram frequência maior na pesquisa.

Figura 9 – Nuvem de palavras sobre QV no início do curso.



Fonte: Elaborado pela autora.

Embora os discentes tenham afirmado não saber do que se tratava, a nuvem de palavras mostra que o termo “Química Verde” remeteu a assuntos pertinentes ao tema e que eram previamente conhecidos por eles, como meio ambiente, natureza e orgânica. Apesar de o sentido de QV não se reduzir a essas palavras, esse foi o panorama inicial apresentado pela turma.

A partir desse bate-papo, foi então apresentada a definição de QV proposta por Anastas e Warner (1998), amplamente citada na literatura e marcante sobre a sua origem que, por sua vez, foi apresentada aos estudantes por meio de um breve contexto histórico, demarcado por eventos de relevância mundial sobre as questões ambientais, destacando-se a elaboração da Agenda 2030 e os ODS.

Nessa discussão inicial, os alunos demonstraram mais interesse e certa ansiedade em estudar o tema. Nesse momento, aproveitou-se para discutir sobre duas palavras que tiveram bastante destaque na nuvem: sustentável e sustentabilidade.

Apesar dos termos sustentável e verde serem utilizados para definir determinados processos e produtos, eles não são sinônimos. A definição de QV tem um caráter técnico de desenhar novas rotas menos poluidoras e que gerem produtos mais seguros e, por isso, é considerada por muitos autores como uma possibilidade para o alcance da

sustentabilidade (ANASTAS e KIRCHOFF, 2002; MARQUES ET AL., 2013; ANASTAS e ZIMMERMAN, 2019; MARCELINO, MARQUES e SJÖSTRÖM, 2019, SANDRI e MARQUES, 2021). Entretanto, não é necessariamente sustentável, uma vez que, não há garantia de que todas as dimensões da sustentabilidade sejam cumpridas a partir desta técnica.

Por outro lado, essa nova forma de pensar os processos produtivos tem ampliado o entendimento acerca da QV, no sentido de superar o caráter estritamente técnico. Deste modo, a sua relação com a sustentabilidade tem sido discutida, em vista de se incorporar aos critérios de sustentabilidade e dialogar com os ODS.

Em seguida, levando-se em consideração que os princípios da QV têm seu cerne nos processos industriais, utilizou-se a descrição de um processo de produção industrial de etanol como estratégia de apresentação desses princípios ao longo do curso. Sendo assim, na sequência da primeira aula, os alunos assistiram o primeiro episódio de uma série de vídeos[8] produzidos pela Petrobras, disponíveis numa plataforma virtual. Foi solicitado que eles fizessem anotações sobre destaques, curiosidades e dúvidas em relação ao vídeo.

O processo de produção de etanol se inicia com o plantio da cana-de-açúcar, que é realizado pelos trabalhadores rurais e pressupõe cuidados com o solo. Desta forma, discutiu-se sobre a importância da legislação ambiental, que estabelece condições para o uso da terra, de modo a preservar cursos d'água e os ecossistemas naturais das regiões.

Outros pontos de destaque foram a preparação do solo, que envolve o uso de componentes químicos e biológicos, e a relevância da rotação de culturas. Esta prática, além de diversificar o plantio, contribui para a conservação da terra e controle de pragas. De acordo com Franchini et al. (2011, p.11), "a ausência dessa prática acarreta o surgimento de alterações de ordem química, física e biológica no solo, que podem comprometer a estabilidade do sistema produtivo".

Nesse contexto, destaca-se a importância dessa discussão como forma de ampliar a visão dos alunos sobre as possibilidades de aplicação dos conhecimentos científicos. Santos (2007; 2012) ressalta a necessidade de educar cientificamente para a cidadania no sentido de que os estudantes sejam capazes de participar de decisões democráticas sobre

[8] Disponível em <http://www.petrobras.com.br/etanol> Acesso em: 25 abr 2021.

ciência e tecnologia. Desta forma, na segunda parte da aula, foram exploradas outras características relacionadas ao funcionamento de uma indústria, para além de seus processos químicos. Utilizando-se uma indústria produtora de suco de laranja como exemplo, discutiu-se sobre a geração de impactos sociais e ambientais, a partir de suas informações disponíveis na internet[9].

Sendo assim, foram abordadas questões intrínsecas ao desenvolvimento de uma sociedade e outras impostas pelas demandas atuais do planeta, grande parte delas sumarizadas pelos ODS, como a geração de emprego; capacitação profissional; assistência à comunidade do entorno; inclusão de profissionais socialmente excluídos; produção de biomassa; sustentação da biodiversidade e geração de energia renovável, entre outros.

Por fim, a produção do suco de laranja e o aproveitamento dos demais ingredientes provenientes dessa fruta foram itens de discussão. Assim como é possível realizar essa prática cotidianamente no processo de alimentação, por exemplo, na indústria também pode ser uma prática importante, pois agrega valor aos materiais aproveitados, podendo contribuir para a redução de gasto com matérias-primas e diversificar a matriz de fabricação de produtos, como de limpeza, higiene, beleza, tintas e solventes.

Destacou-se a importância da biodiversidade brasileira, que oferece uma variedade de biomassa com potencial para a geração de extensa gama de produtos, que fazem parte do cotidiano social. Nesse contexto, foi trazido à tona a discussão sobre a obtenção de óleos essenciais, em especial, o da casca da laranja.

Estes óleos “constituem uma matéria-prima de grande importância na área industrial, utilizados na produção de cosméticos, indústria farmacêutica e alimentícia, sendo geralmente os componentes de ação terapêutica das plantas medicinais” (SILVA et al., 2014, p.145). A sua obtenção pode ocorrer de diferentes formas, entre elas: destilação por arraste a vapor, hidrodestilação e extração por solventes. O óleo essencial da laranja é constituído por substâncias voláteis e, por isso, o método mais indicado seria o arraste a vapor (Silva, Bocchi e Filho, 1990). Entretanto, em virtude da limitação de aparelhagem para destilação do laboratório de Química e para que todos os estudantes

[9] Disponível em <http://www.citrosuco.com.br/sustentabilidade/projetos-ambientais/biomassa.html> Acesso em 25 abr 2021.

pudessem realizar efetivamente a prática experimental, optou-se por realizar a extração por solventes.

Inicialmente foram explicados o caminho para a elaboração de um inventário de substâncias químicas e as etapas do procedimento experimental.

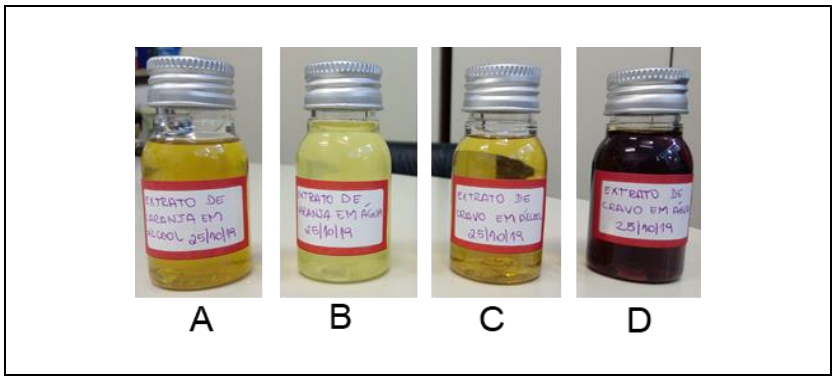
Sendo assim, os estudantes foram apresentados ao mecanismo de investigação de dados dessas substâncias, a partir da análise das Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ). Em seguida, os alunos foram solicitados a confeccionarem uma tabela contendo informações sobre inflamabilidade, reatividade e os riscos das substâncias para a saúde e o meio ambiente, visto que esses dados são fundamentais para a análise do cumprimento de alguns princípios da QV, como o que se refere a prevenção de acidentes.

Nesse sentido, as FISPQ podem ser utilizadas como um instrumento de segurança química, pois possuem informações relevantes quanto à segurança, à saúde e ao meio ambiente, que são essenciais para a execução segura de um experimento. Desta forma, discutiu-se sobre a importância de se portar com seriedade no espaço do laboratório, fazendo uso adequado dos equipamentos de proteção individual (EPI) e manipulando vidrarias e materiais de modo responsável.

Após, iniciou-se efetivamente o procedimento experimental. A técnica da extração do óleo essencial da laranja foi realizada utilizando-se etanol e água como solventes, possibilitando a discussão sobre o princípio do uso de solventes seguros. E, para ampliar o estudo sobre solubilidade, realizou-se também a extração do óleo essencial do cravo-da-índia. O procedimento pode ser feito a quente ou a frio, no entanto, levando-se em consideração o princípio da QV sobre eficiência energética, que prioriza a execução de experimentos a temperatura ambiente, realizou-se o processo a frio.

As matrizes vegetais ficaram em contato com os solventes por quatro dias e após a filtração, os diferentes extratos foram armazenados em frascos (Figura 10) e comparados pelos estudantes na última aula do curso. Devido à limitação de tempo, optou-se por não realizar o processo de isolamento dos óleos.

Figura 10 – Extratos de casca de laranja e cravo-da-índia em diferentes solventes: (A) Laranja/etanol; (B) Laranja/água; (C) Cravo/etanol; (D) Cravo/água.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os alunos observaram que os extratos A e D foram os mais concentrados, porém em solventes diferentes. Deste modo, discutiu-se sobre a técnica empregada basear-se na separação por solubilidade dos compostos no solvente e que, por conta disso, provavelmente outras substâncias teriam sido extraídas no processo, além dos óleos.

Na sequência, analisaram-se as ligações químicas presentes nas estruturas dos solventes utilizados, destacando-se o fato de que a polaridade das moléculas é característica fundamental para a compreensão dos diferentes graus de solubilidade. Sendo assim, os alunos propuseram como explicação a presença de substâncias mais polares no cravo do que na casca da laranja, visto que o etanol é menos polar do que a água.

Para ampliar um pouco mais o estudo, foi solicitado aos alunos que pesquisassem sobre as fórmulas estruturais dos principais constituintes dos óleos essenciais extraídos. Durante o estudo, os discentes verificaram que o limoneno – obtido da casca da laranja – é um composto apolar e, portanto, mais solúvel em etanol, enquanto o eugenol – obtido do cravo – possui um grupo hidroxila que aumenta a sua polaridade, facilitando, então, a extração em água.

Na segunda aula, a mesma técnica experimental foi empregada, porém para a obtenção de corantes naturais. O uso destes em substituição aos corantes sintéticos tem sido bastante estimulado, principalmente, devido às suas características mais sustentáveis. Muitas indústrias utilizam corantes sintéticos em sua produção, como a têxtil, alimentícia e de papel, por exemplo. Entretanto, esses processos são responsáveis pela alta geração de efluentes que, sem o devido tratamento, podem causar efeitos nocivos ao meio

ambiente, como: diminuição do oxigênio dissolvido, eutrofização, obstrução da passagem de luz nos corpos d'água, entre outros (RUIZ e GIRALDO, 2009).

Nesse sentido, além do uso de corantes naturais contribuir para a formação de resíduos menos perigosos – primeiro princípio da QV – sua técnica de obtenção pela extração é mais segura, pois não envolve síntese com reagentes considerados perigosos. Entretanto, os corantes sintéticos são mais amplamente comercializados, pois são mais estáveis, "mais acessíveis financeiramente e possuem melhor rendimento em baixas concentrações em comparação aos demais tipos de corantes" (PENNA et al., 2021, p.14-15). Desta forma, discutiu-se com os estudantes sobre a necessidade de analisar a fabricação de um produto sob diferentes aspectos. A utilização de técnicas mais verdes é uma demanda do planeta, porém, a viabilidade econômica de produção e consumo é um dos pilares das atividades sustentáveis.

Sendo assim, iniciou-se a realização do experimento solicitando aos alunos que fizessem o inventário das substâncias e, em seguida, executou-se as etapas do procedimento, como feito na aula anterior. Foram utilizados urucum como matriz vegetal e etanol como solvente. Na última aula, o corante foi filtrado e foi feito um estudo sobre as características das substâncias responsáveis pela coloração observada.

Os alunos pesquisaram sobre as estruturas químicas dos principais constituintes da semente do urucum, bixina e norbixina, e o conceito de solubilidade foi novamente discutido. Para estender o estudo dos conteúdos químicos, estudou-se sobre as funções orgânicas presentes nesses compostos (ácido carboxílico e éster) e o tipo de cadeia carbônica. A existência de insaturações ao longo das cadeias faz com que atuem também como agentes antioxidantes, fato que expande sua aplicação na indústria alimentícia. Além disso, de acordo com Fabri e Teramoto (2015, n.p.), o corante do urucum apresenta baixo custo de produção e seu mercado "corresponde a aproximadamente 90% do total do consumo de corantes naturais no país e em torno de 70% de corantes naturais no mundo".

Na segunda aula, os discentes também assistiram o segundo episódio da série de produção industrial do etanol. Este capítulo abordou as características da colheita mecânica, que possibilita recolher toneladas de cana-de-açúcar por dia. Alguns alunos promoveram uma discussão sobre as diferenças entre o trabalho manual e o mecânico, ressaltando que o primeiro se constitui em prática bastante exaustiva, enquanto o segundo

exige maior aptidão do trabalhador. Nesse contexto, falou-se sobre a importância da qualificação para o mercado de trabalho que remunera melhor e promove menos estresse físico, ou seja, mais saúde e bem-estar, que são objetivos sustentáveis.

O episódio seguinte tratou das etapas de transformação da cana-de-açúcar em etanol e marcou o início da terceira aula. Os estudantes fizeram suas anotações e os destaques da discussão foram: o uso de equipamentos de segurança para atuar na planta industrial, o aproveitamento dos subprodutos do processo e a queima do bagaço de cana para gerar energia.

Novamente ressaltou-se a necessidade do uso de EPI como forma de assegurar a integridade física do trabalhador e evitar a ocorrência de acidentes.

Além disso, discutiu-se sobre alguns subprodutos serem aproveitados como fertilizantes para o plantio da cana, retornando ao início do ciclo de produção. O uso de biomassa residual faz parte da transição da economia linear para a economia circular (GÓMEZ-SOTO, SÁNCHEZ-TORO, MATALLANA-PÉREZ, 2019), e além de reduzir os impactos ambientais, constitui-se em atividade lucrativa. A economia circular se baseia na inteligência do planeta e se utiliza do conceito do berço ao berço, no qual os resíduos tornam-se insumos, ou seja, "propõe que o valor dos recursos extraídos e produzidos seja mantido em circulação por meio de cadeias produtivas integradas" (SEHNEM e PEREIRA, p.36, 2019).

Ainda em relação ao aproveitamento integral da matéria-prima, abordou-se outra questão essencial dos processos industriais: a energia que alimenta o funcionamento da planta industrial que, neste caso, é gerada a partir da queima do bagaço da cana. Este foi um ponto importante de discussão, visto que a demanda de energia mundial está em crescimento. O uso de biomassa da cana-de-açúcar, além de tornar as usinas autossuficientes, é usado para comercialização, tendo grande relevância no cenário brasileiro (GARCIA, VILPOUX e CEREDA, 2021).

Nesse sentido, foi explorado o fato de que essa energia advém de um recurso renovável – princípio 7 da QV. De acordo com a Resenha Energética Brasileira (Brasil, 2020), a oferta interna de energia apresentou um aumento na participação das fontes renováveis, representando quase metade da energia necessária para movimentar a economia de uma região, em 2019. Isso mostra que o país tem investido na diversificação

da sua matriz energética, diminuindo a exploração de recursos não-renováveis, dos quais o petróleo encontra-se em posição majoritária.

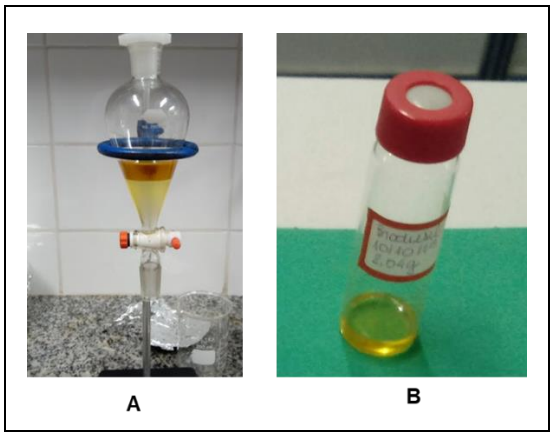
Sendo assim, foram apresentadas as principais limitações do uso de combustíveis fósseis, como o custo de produção e o aumento da poluição ambiental, fatores que contribuem para o investimento na produção de biocombustíveis, cujas matérias-primas são obtidas de recursos renováveis e, assim, iniciou-se a discussão sobre o procedimento experimental da aula – produção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura.

Os estudantes fizeram o inventário dos produtos químicos a serem utilizados, tendo a sua atenção despertada para a manipulação do hidróxido de sódio. Aproveitou-se a oportunidade para estudar sobre o uso desse composto como catalisador da reação. Ressaltou-se que a QV considera como princípio a não utilização de catalisadores, preferindo empregar reagentes catalíticos. Entretanto, o uso dessas substâncias constitui-se em fator de influência da cinética química das reações, podendo também ser seletivo e, por isso, a sua aplicação em alguns casos se torna essencial.

Além disso, os conteúdos das funções orgânicas álcool, ácido carboxílico e éster, foram retomados estendendo o estudo para os triglicerídeos, que são os principais constituintes dos óleos vegetais, e estudou-se sobre a reação de transesterificação para a produção do biodiesel. Ao final do processo reacional, os alunos transferiram a mistura para o funil de separação e deixaram em repouso por 24 horas. Foi solicitado que eles pesquisassem sobre a composição de cada fase observada para a próxima aula.

Desta forma, prosseguimos as etapas de separação e purificação do produto. Os estudantes notaram a ocorrência da reação ao verificarem a diferença de cor entre as fases (Figura 11A) e apontaram a presença do biodiesel na fase superior e a glicerina na fase mais densa. Neste momento, eles foram questionados sobre o destino do catalisador e do excesso de etanol utilizado. Novamente foi levada à tona a discussão sobre solubilidade, destacando-se as estruturas químicas dos produtos formados, e os discentes concluíram que os resíduos se encontravam provavelmente na fase inferior, que foi, então, separada e armazenada em frasco coletor.

Figura 11 – Resultado da transesterificação de óleo usado: (A) Produtos separados em fases; (B) Biodiesel.



Fonte: Elaborado pela autora.

Levando-se em consideração que o biodiesel era o produto desejado da reação, procedeu-se à etapa de purificação, ao adicionar certa quantidade de ácido inorgânico e lavar a fase com água. Mais uma vez os estudantes foram questionados sobre a necessidade de realizar esses passos e, a partir da discussão anterior, concluíram que se houvesse base residual, esta seria neutralizada pelo ácido, bem como resíduos de etanol e glicerina seriam removidos pelo contato com a água.

Após a adição do agente dessecante, recolheu-se o biodiesel, que foi armazenado em frasco coletor, como mostra a Figura 11B. Os estudantes demonstraram surpresa em relação à quantidade de produto obtida e, apesar de os aspectos estequiométricos da reação química não terem sido abordados por falta de tempo, analisou-se sob um viés qualitativo os fatores que poderiam ter contribuído para um baixo rendimento.

A discussão foi iniciada a partir da catálise homogênea básica para a produção de biodiesel, que é amplamente utilizada no setor industrial por apresentar alta e rápida taxa de conversão, em condições moderadas e de baixo consumo de energia, além de ser mais viável economicamente. Apresenta como inconveniente a não recuperação do catalisador. Entretanto, o emprego de catalisadores alcalinos, em reações cuja matéria-prima são óleos residuais, requer processos de pré-tratamento devido ao alto índice de ácidos graxos livres e à ocorrência de saponificação (HAJJARI et al., 2017).

Em seguida, passou-se a discutir sobre a razão pela qual foi empregado o etanol como reagente: é uma substância menos perigosa do que o metanol e, portanto, mais verde, conforme o terceiro princípio da QV. De acordo com Günay, Türker e Tapan (2019), metanol e etanol são os reagentes mais empregados na produção de biodiesel por

possuírem cadeias carbônicas curtas e, consequentemente, serem mais polares, porém devem ser utilizados em excesso. Além disso, o etanol é menos reativo em condições de temperatura mais amena podendo apresentar baixo rendimento de reação.

Por fim, encerramos o estudo ressaltando que, apesar das limitações (alta viscosidade, baixa demanda comercial e necessidade de álcool em excesso), o uso de óleos residuais como matéria-prima para a produção de biodiesel tem sido muito empregado, principalmente, em regiões onde não há abundância de fontes renováveis, tem custo mais baixo e porque o uso de oleaginosas comestíveis gera competição por áreas de terra dedicadas ao cultivo de culturas alimentares (AMBAT, SRIVASTAVA, SILLANPÄÄ, 2018).

Ainda na quarta aula, foi apresentado o episódio sobre a distribuição, o armazenamento e a análise de qualidade do etanol antes de chegar aos postos. Os alunos observaram que o produto passa por uma verificação que inclui avaliações qualitativas e quantitativas e certificação de qualidade para posterior envio. O etanol além de comercializado como combustível, também é adicionado à gasolina visando a melhorar a eficiência e a reduzir a quantidade de poluentes.

Foi pauta de discussão a quantidade de profissionais envolvidos no processo e em diferentes áreas de atuação, ou seja, muito além dos especialistas em Química; a dinâmica de precificação dos combustíveis, que depende da distância geográfica entre produtor e consumidor, da tributação por estado, além dos períodos de safra e entressafra e a distribuição mais sustentável por dutos.

Na última parte da aula, os discentes foram questionados sobre a glicerina obtida na síntese do biodiesel. Alguns fizeram menção de que achavam ser vendida em farmácias e, nesse contexto, iniciou-se uma conversa sobre o que fazer com coprodutos de uma reação. O princípio dois da QV sugere a realização de sínteses que não formem coprodutos; no entanto, nem sempre isso é possível. Logo, é fundamental pensar em possibilidades de aproveitamento desses materiais para que não se tornem resíduos.

Sendo assim, sugeriu-se incorporar a glicerina obtida ao processo de fabricação do sabão a partir de óleo residual de fritura. Os estudantes receberam o protocolo experimental, fizeram o inventário das substâncias e procederam as etapas. Novamente, ressaltou-se a importância da manipulação segura do hidróxido de sódio para evitar

acidentes. Ao final do procedimento, o sabão foi posto em repouso e os alunos convidados a pesquisar para a aula seguinte sobre os aspectos do processo de secagem.

Passou-se, então, a estudar os conteúdos químicos que envolvem a reação de saponificação. Como já havia sido caracterizado o grupo funcional dos triglicerídeos, concentrou-se a explicação na classificação da reação orgânica e nos produtos resultantes. Desta forma, os discentes aprenderam sobre sal orgânico como nova função e perceberam que a glicerina também é produto da saponificação, não havendo necessidade, portanto, de separação. A aula foi finalizada discutindo-se sobre as características da estrutura química do sabão: as partes hidrofílica e hidrofóbica promovem interações químicas com a água e as moléculas de gordura, fazendo com que sejam removidas da superfície.

Na última aula, os alunos puderam perceber o sabão mais consistente e apresentaram os resultados da sua pesquisa sobre a importância do processo de secagem, tanto para a remoção da água quanto para a redução da basicidade. Destacou-se que essa é uma reação que ocorre com excesso de hidróxido e pode ter a sua taxa de conversão influenciada pela agitação manual. Nesse sentido, conversou-se a respeito de o sabão produzido no laboratório não ser apropriado para uso na higiene pessoal e, quanto maior for o período de secagem, menor a sua alcalinidade, pois a base continua em contato com o óleo que não reagiu.

A seguir, assistiu-se o penúltimo capítulo da série sobre o etanol, que abordou a produção deste álcool de segunda geração, ou seja, a partir de resíduos agroindustriais. O centro de pesquisa mostrou os resultados obtidos utilizando-se o bagaço da cana, que possui matéria capaz de ser transformada em açúcares, cujo processo de fermentação com microrganismos apropriados dão origem ao etanol. Considerou-se oportuno o momento para falar sobre a importância da pesquisa para o desenvolvimento científico e tecnológico de uma sociedade e destacar as dimensões humana e social das práticas científicas (AIKENHEAD, 2009).

Crenças e valores, além do modo como se dão as relações interpessoais, são características inerentes do ser humano que influenciam o modo de pensar e o fazer científico, da mesma forma que esses aspectos também promovem mudanças tecnológicas.

Após essa conversa, os alunos finalizaram os processos de extração de óleo essencial e corante natural, cuja discussão foi apresentada anteriormente. Caminhou-se,

assim, para a segunda parte da aula, na qual foi promovida uma revisão sobre os assuntos abordados que culminou na descrição dos princípios da QV. Deste modo, mostrou-se uma possibilidade de avaliar sistematicamente a verdura química – grandeza denominada por Adélio Machado (2014) para medir o quão verde são os processos químicos – dos protocolos experimentais, por meio da construção das matrizes verdes.

Para verificar o cumprimento ou não dos princípios da QV, e assim identificar os pontos fortes e fracos dos roteiros experimentais avaliados, os alunos compreenderam que seria necessário utilizar as informações contidas nos inventários das substâncias que eles elaboraram ao longo do curso. Além disso, foi explicado que os experimentos que envolvem reações químicas não avaliam os princípios 4 (obtenção de produto seguros) e 11 (análise em tempo real para a prevenção), assim como as atividades sem reação química não avaliam os princípios 2 (economia atômica), 3 (sínteses menos perigosas), 8 (menos derivatizações) e 9 (uso de catalisadores).

Sendo assim, após apresentar o modo de elaboração das matrizes verdes e esclarecer as dúvidas, os grupos de estudantes de cada bancada foram convidados a escolher um dos experimentos executados no curso e analisar o seu protocolo sob a perspectiva das métricas holísticas. Devido à reduzida disponibilidade de tempo, optou-se por construir apenas a matriz verde. Três grupos decidiram avaliar o procedimento da extração do corante natural do urucum e os outros dois escolheram a transesterificação do óleo residual de fritura.

Logo no início os discentes demonstraram insegurança para concluir sobre o cumprimento ou não dos princípios. Eles perceberam que, apesar de existirem critérios cuja análise culmina na identificação dos pontos fortes e fracos, esta possui um caráter muito subjetivo. Além disso, nem sempre é possível obter todas as informações sobre a natureza das substâncias envolvidas. Portanto, a ferramenta apresenta limitações. Discutiu-se, então, sobre a complexidade da verdura química, que dificulta a existência de uma métrica única para a sua análise. Por isso, para uma melhor avaliação do grau de esverdeamento de um procedimento experimental, é interessante combinar os resultados das análises de várias métricas.

Deste modo, os estudantes explicitaram as suas dúvidas e, em conjunto, foram construídas as duas matrizes verdes, apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Matrizes verdes elaboradas pelos participantes do curso.

Extração do corante natural		**Transesterificação de óleo residual**	
Pontos Fortes	Pontos Fracos	Pontos Fortes	Pontos Fracos
P6 – Pressão e temperatura ambiente. P7 – Uso de matérias-primas renováveis. P10 – Uso de substâncias degradáveis.	P1 – Produção de resíduos de alto risco. P5 – Solvente com risco alto para a saúde. P12 – Risco elevado de acidente químico.	P6 – Pressão e temperatura ambiente. P7 – Uso de matérias-primas renováveis. P8 – Não se utilizam derivatizações. P10 – Uso de substâncias degradáveis.	P1 – Produção de resíduos de risco elevado. P2 – Excesso de reagente. P3 – Substâncias com riscos elevados para saúde. P5 – Substância auxiliar com risco elevado para a saúde. P9 – Usa-se catalisador. P12 – Elevado risco de acidente químico.
Oportunidades	Ameaças	Oportunidades	Ameaças
-Utilizar outro solvente sem risco.	Provocar acidentes.	-Pesquisar substâncias para substituir as perigosas. - Diminuir os reagentes. - Trocar o solvente.	- Não pode eliminar o catalisador. - Impossibilidade de usar recursos renováveis.

Fonte: Dados da pesquisa.

Os grupos chegaram à mesma conclusão em relação aos pontos fortes e fracos dos procedimentos analisados e apontaram algumas oportunidades e ameaças distintas, que foram agrupadas na tabela. A discussão dos resultados ocorreu em uma perspectiva teórica, visando a perceber sobre como os estudantes compreenderam esse modo de avaliação da verdura química.

Em relação à extração do corante, os estudantes avaliaram o procedimento em 50% verde, pois consideraram o não cumprimento dos princípios 1, 5 e 12 devido ao uso do etanol como solvente, por ser uma substância inflamável. Sendo assim, sugeriram a substituição desse solvente por outro de menor risco, oportunidade bastante pertinente, porém apontaram a ocorrência de acidente como uma ameaça. Ressaltou-se que esta é um fator que impossibilita a realização da oportunidade, ou seja, a análise externa da matriz verde não ficou clara para os discentes. Além disso, destaca-se que caberia a interpretação

sobre a manipulação do etanol acarretar apenas risco de acidente e não para a saúde e o meio ambiente e, desta forma, os princípios 1 e 5 poderiam ser considerados pontos fortes.

O processo de obtenção do biodiesel foi considerado 40% verde. Dentre os pontos fortes, chama a atenção o cumprimento do princípio 7, no qual os estudantes consideraram renováveis todas as matérias-primas utilizadas, provavelmente, porque levaram em consideração apenas os reagentes, excluindo o catalisador. Em relação aos pontos fracos, apontaram a formação de resíduos perigosos, entretanto, a adição de ácido clorídrico tem a função de neutralizar a base, modificando essa situação. Por fim, indicaram o não cumprimento do princípio 3, supostamente por considerarem o etanol com risco elevado para a saúde e/ou ambiente.

Essa análise mostrou a necessidade de dedicar mais tempo ao estudo dos princípios, mesmo entendendo que essa é uma discussão que não se esgota, pois, cada procedimento experimental é único e, portanto, guarda características próprias, enquanto a descrição dos princípios possibilita algumas interpretações que acarretam limitações à métrica, como afirma Machado (2014).

Na sequência, as aulas do curso foram encerradas com a apresentação da proposta do trabalho final e os alunos foram convidados a confeccionarem um novo mapa mental, contendo as suas ideias sobre QV, para que pudéssemos comparar com o primeiro. A Figura 12 mostra a nuvem de palavras elaborada a partir dos termos citados nos mapas.

Figura 12 – Nuvem de palavras sobre QV no final do curso.



Fonte: Elaborado pela autora.

Percebe-se que o conjunto de palavras é mais robusto do que o inicial (Figura 9), resultado esperado, visto que os discentes ampliaram seus conhecimentos acerca do tema. É possível identificar que os termos de maior destaque no primeiro mapa (meio ambiente, natureza, sustentável e sustentabilidade) aparecem novamente com relevância, indicando uma possível consolidação do entendimento prévio. Entretanto, nota-se que o termo mais citado neste caso foi "menos poluição", que não consta exatamente na definição de QV, mas é uma das principais consequências dessa prática.

Além disso, outros termos de destaque na nuvem como "reutilização", "reaproveitamento", "renovável", "saúde" e "segurança" denotam que aspectos essenciais da QV, que foram abordados no curso, apresentaram relevância para a compreensão dos estudantes. Desta forma, acredita-se que eles alcançaram um conhecimento mais acentuado sobre o assunto, superando a visão superficial anterior.

Por fim, os estudantes fizeram individualmente o trabalho final, que consistiu na elaboração de um projeto de caráter sustentável em prol da escola. Dentre os vinte participantes, apenas sete entregaram os trabalhos, cujas informações encontram-se na Tabela 18. Acredita-se que os estudantes consideraram a tarefa complexa para ser realizada de modo individual e o esforço não compensaria, visto que, o certificado de participação não contribui para a conclusão do curso técnico na escola.

Tabela 18 – Projetos propostos pelos alunos da primeira turma do curso.

Título	**Objetivo**	**Ensino Médio**
Reutilização da água da chuva	Criar um mecanismo de coleta de água da chuva para irrigação do bosque.	Técnico em Eletrotécnica
Descarga com chuva	Reaproveitar a água da chuva para as descargas nos banheiros do CEFET/RJ.	Técnico em Eletrotécnica
Reciclagem de embalagem de quentinhas	Recolher as embalagens e vender para cooperativas de reciclagem, empregando a renda em projetos sociais.	Técnico em Eletrotécnica
Projeto catatampa	Juntar tampas de garrafas para serem trocadas por cadeiras de roda ou ração para animais.	Técnico em Eletrônica
Minha horta na escola	Reaproveitar restos de alimentos como nutrientes para uma horta.	Técnico em Eletrônica
Adubo a partir de lixo orgânico	Produzir adubo a partir do lixo da escola.	Técnico em Eletrônica
Aproveitamento de água proveniente de aparelhos de ar-condicionado	Utilizar a água proveniente dos aparelhos de ar-condicionado para a limpeza da instituição, irrigação do jardim e descarga sanitária.	Técnico em Eletrotécnica

Fonte: Elaborado pela autora.

A leitura mostrou que todos os assuntos abordados eram pertinentes e de acordo com a proposta de trabalho. No entanto, foram identificados alguns problemas como a

construção de justificativas rasas para o projeto e metodologias incompletas para a sua implementação, cópia de ideias já desenvolvidas na escola e, ainda, um trabalho integralmente plagiado. Assim, percebeu-se que este tipo de avaliação carece de tempo maior do que o oferecido no curso para que os estudantes sejam melhor orientados acerca da sua elaboração, compreendendo a importância da pesquisa para a fundamentação do trabalho, a busca por fontes confiáveis, a necessidade de fazer citações corretamente e indicar a referência bibliográfica, dentre outros.

Por outro lado, de modo geral, considera-se que a abordagem de ensino utilizada no curso contribuiu para que os estudantes ampliassem a sua visão sobre o conhecimento científico para além dos conteúdos disciplinares. Ao longo do curso eles foram muito ativos na realização dos experimentos químicos e na elaboração das atividades solicitadas. Entretanto, foram introduzidos em um universo extenso de novos conceitos em um curto espaço de tempo.

4.4- Segunda versão do curso de extensão – modo remoto

4.4.1- Considerações prévias à execução do curso

Compreende-se que a discussão sobre QV não se esgota na realização de um curso de extensão ou mesmo em outra modalidade de estudo. Entretanto, após a primeira experiência, foi possível identificar alguns pontos que poderiam contribuir para um melhor entendimento dos itens de estudo propostos, bem como para a avaliação do curso: (1) aumentar o período de realização do curso disponibilizando mais tempo para o estudo dos temas; (2) expandir a discussão sobre os conceitos de QV sugeridos, promovendo espaços para a sua problematização; (3) reestruturar os experimentos propostos de modo a favorecer a emersão de conteúdos químicos e sua articulação com os conceitos de QV; (4) relacionar as características de um processo industrial com a prática laboratorial e a teoria de modo mais integrado; (5) aprofundar o estudo sobre métricas verdes e a sua contribuição para a relação com a sustentabilidade; (6) aprimorar a pesquisa de opinião dos estudantes acerca do tema para melhor compreender as contribuições na sua formação e (7) orientar com mais clareza, oferecendo suporte para a elaboração do trabalho final.

Sendo assim, o curso foi dividido em dois módulos, nos quais o primeiro envolveu majoritariamente atividades sem reações químicas e o segundo, com reações químicas, e

uma nova ementa foi elaborada (Apêndice 3), propondo temas que possibilitam estudar processos e produtos inovadores como os bioplásticos.

O contexto histórico de origem da QV foi brevemente introduzido e o estudo sobre os temas experimentais foi ampliado a partir da inserção de novas práticas (Apêndice 4), que foram descritas na Tabela 15. Conforme a metodologia apresentada, utilizou-se os temas dos trabalhos elaborados pelos alunos como incentivo para a inclusão de novos tópicos. Desta forma, os trabalhos sobre reciclagem de embalagens e tampas plásticas levaram à adição dos temas papel e bioplásticos.

Além disso, a elaboração dos mapas mentais foi substituída pelo preenchimento de questionários pré e pós-teste, visando a avaliar melhor a opinião dos alunos sobre QV, e incluiu-se a realização de um trabalho prévio, numa tentativa de preparar mais adequadamente os discentes para a elaboração do projeto final.

Entretanto, em meio ao processo de reestruturação, a pandemia da Covid-19 surpreendeu a todos e implicou na suspensão das aulas presenciais por tempo indeterminado, impactando diretamente a realização do curso de extensão. Desta forma, para dar continuidade a pesquisa, a ementa do curso foi adaptada para a sua realização em modo remoto. Levando em consideração que a proposta de desenvolvimento de experimentos químicos nessa pesquisa vai além da motivação e da instrumentalização dos discentes, acreditou-se que apresentar os procedimentos gravados ainda possibilitaria mostrar a relevância dos conteúdos de QV.

Sendo assim, após a reestruturação da ementa e produção dos vídeos, uma nova turma foi iniciada e contou com a participação de 12 alunos do CEFET/RJ, campus Maracanã, dos cursos de Administração (1), Edificações (1), Eletrônica (3), Eletrotécnica (4) e Telecomunicações (3) – 8 da primeira e 4 da segunda série – e 2 alunos do Colégio Pedro II, campus Centro, – 1 da primeira e 1 da terceira série do ensino médio regular. As aulas ocorreram duas vezes por semana, cada uma com duração de 90 minutos.

4.4.2- Relato da experiência – modo remoto

A aula introdutória teve por objetivo apresentar a proposta do curso e a dinâmica das aulas remotas: envio prévio de material (vídeos sobre os temas, vídeos dos experimentos e seus roteiros com questões de pesquisa) como atividade assíncrona para discussão nas aulas em tempo real, e conversar com os estudantes sobre essa estrutura,

numa tentativa de acolhimento diante do cenário imposto pela pandemia, no sentido de encontrar um caminho mais confortável possível para a realização do curso.

Além disso, discutiu-se sobre o uso da plataforma de trabalho, a importância da frequência nas aulas síncronas e o compromisso dos discentes em relação às atividades assíncronas e às propostas de trabalho para a conclusão do curso. Por fim, eles foram convidados a responder o questionário pré-teste para investigação de sua opinião prévia sobre QV, cujos resultados serão apresentados posteriormente.

Para iniciar o estudo sobre os conceitos de QV, os alunos receberam o link do vídeo "A história das coisas"[10] e apresentaram suas impressões na aula. Este vídeo descreve o caminho linear da vida de um produto, ou seja, desde a sua concepção até o descarte, e ao longo da apresentação coloca em pauta muitos fatores decorrentes dessa produção e que impactam negativamente o meio ambiente, como extração excessiva dos recursos do planeta, influência política de governos e corporações, uso de substâncias químicas perigosas, emissão de poluentes, consumo desmedido, obsolescência programada e perceptiva, entre outros.

Os dois últimos pontos foram bastante ressaltados pelos alunos, que se mostraram informados sobre os impactos causados pelo consumismo exagerado, mas apontaram dificuldades diante do que chamaram de armadilhas do mercado, que são as propagandas de convencimento do consumidor e que se relacionam com a obsolescência perceptiva. Foi surpreendente para alguns perceber que essa dinâmica não acontece espontaneamente, mas é planejada para ser assim. Por outro lado, os estudantes foram convidados a olharem o mesmo assunto a partir de outros pontos de vista. A produção de bens de consumo gera emprego, por exemplo, bem-estar e movimenta a economia, fatores essenciais para a vida de uma população na sociedade em que vivemos.

Desta forma, discutiu-se sobre a história das coisas envolver um número variado de atores sociais e não apenas especialistas científicos (ROSA e STRIEDER, 2018), o que significa que todos os indivíduos de uma sociedade impactam de algum modo a sua manutenção; logo precisam estar atentos às suas responsabilidades.

É muito comum os discentes questionarem sobre o porquê de estudar determinada disciplina na escola, e isso é frequente quando se trata do ensino de Ciências (MUNDIM

[10] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=G7_S0mMbKiw> Acesso em: 25 abr 2021.

e SANTOS, 2012; AULER, 2007; KRASILCHIK, 2000). Portanto, pretendeu-se com essa discussão não só introduzir o estudo sobre QV, mas contribuir para que este efetivamente comece a fazer sentido para os alunos. Assim, apresentou-se a definição de QV e um breve histórico sobre marcos ambientais como, a Conferência de Estocolmo e o Relatório de Brundtland, a Rio-92 e seus desdobramentos até a Agenda 2030 e os ODS, que serviram de contexto para a origem da QV.

Na sequência da aula, iniciou-se a abordagem temática dos experimentos por meio do estudo de um material muito utilizado pelos discentes e que faz parte do seu cotidiano escolar: o papel. Como atividade assíncrona prévia, eles assistiram a um vídeo[11] sobre a fabricação deste material, que foi o ponto de partida do nosso estudo. Os participantes assistiram, então, as etapas de produção do papel desde a extração da madeira, fonte de matéria-prima, até a sua comercialização.

Durante a discussão foi levado à tona o fato de o Brasil apresentar posição de destaque mundial na produção de celulose e papel (IBÁ, 2020), que é um item com aplicação diversa, como, por exemplo, imprensa, papelaria, higiene, embalagens, entre outras. Entretanto, o processo de obtenção causa impactos negativos ao meio ambiente, pois contribui para o desmatamento, requer muito gasto de água, assim como o tratamento químico para branqueamento gera alto volume de efluentes. De acordo com Simão et al. (p.444, 2018) “quando descartados de maneira inadequada, esses resíduos podem ter um impacto significativo no meio ambiente, prejudicando a água, o solo e o ar”.

Atualmente, pensando no conceito de produção mais limpa (SIMÃO et al., 2018), existe um grande incentivo ao uso de madeira reflorestada, com a gestão florestal sustentável, bem como a redução da geração de resíduos e prática do processo de reciclagem, pois reduz o consumo de água em relação ao processo convencional e prolonga a vida útil do material. Nesse contexto, apresentou-se aos alunos um procedimento para reciclagem de papel em laboratório, como atividade assíncrona, e foi solicitado que pesquisassem sobre os tipos de papel que poderiam ser reciclados.

Assim, na aula seguinte, estudou-se sobre as etapas do processo de reciclagem apresentadas no vídeo, além das propriedades desse material. Os estudantes verificaram que foi realizado um procedimento simples de reciclagem, sem tratamentos para

[11] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=rFqpki-sScM> Acesso em: 16 mai 2021.

branqueamento e alisamento do papel e, por isso, foi obtido como produto um material mais escuro e com superfície irregular, porém, apto para ser utilizado. Desse modo, foi possível perceber que esta técnica reintroduz os materiais descartados no ciclo produtivo e, no caso do papel, a matéria-prima em questão possibilita esse processo.

Nesse sentido, discutiu-se sobre as características da celulose, que é um polímero natural de glicose, e analisou-se a estrutura química das cadeias carbônicas dos carboidratos, ressaltando a presença das ligações intermoleculares de hidrogênio que contribuem para a reorganização das fibras no processo de reciclagem.

Após esse estudo, falou-se sobre o resultado da pesquisa feita pelos alunos. Eles apontaram que a maior parte dos tipos de papel não pode ser reciclada devido ao seu propósito de uso ou pela adição de substâncias químicas que impossibilitam essa prática, como cola adesiva e impermeabilizantes. Ressaltaram também que, em alguns casos, o custo do processo é encarecido por conta da etapa de separação do papel das outras camadas que constituem uma embalagem, por exemplo.

A partir dessa discussão, foram expostos conceitos sobre a avaliação do ciclo de vida (ACV). Esta é uma técnica que "enfoca os aspectos ambientais e os impactos [...] ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, desde a aquisição das matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final" (ABNT, p.6, 2009). De acordo com Nóbrega et al. (p.875, 2019), o papel é um dos "materiais mais identificados na gestão de resíduos sólidos domiciliares" e segundo um estudo de ACV realizado pelos autores, a reciclagem traz benefícios ambientais evitando emissões que contribuem para a eutrofização e o aquecimento global, por exemplo.

Para a quarta aula, os estudantes receberam o link de um vídeo sobre corantes naturais de frutas tropicais e os vídeos gravados dos experimentos: extração do corante da casca da cebola roxa e do açafrão e a aplicação de um desses corantes como indicador ácido/base. Além disso, foram convidados a pesquisar sobre a técnica de extração por solventes e as substâncias responsáveis pela coloração dos alimentos, e porque ocorre mudança de cor pela ação do meio.

Sendo assim, no início da aula os alunos destacaram os pontos principais acerca do primeiro filme. A posição de relevância do Brasil no cenário mundial, sendo o terceiro maior produtor de frutas tropicais, chamou a atenção dos discentes, além do fato desses alimentos serem fontes de compostos bioativos e corantes naturais. Também apontaram

alguns desafios do mercado de corantes: geralmente utiliza tecnologia de alto custo, emprega matéria-prima perecível e dependente da sazonalidade, e resulta em produto com baixa estabilidade e alta solubilidade.

Apesar disso, foi discutido sobre ser um mercado em expansão devido às inúmeras possibilidades de aplicação do produto (têxtil, alimentício, cosméticos, papel, tintas e plásticos etc.) e pelas características consideradas mais verdes em relação aos corantes sintéticos, como a biodegradabilidade e o uso de matéria-prima renovável, além de serem atóxicos e poderem apresentar algum valor nutricional (PENNA, DURÇO E MÁRSICO, 2021).

Assim como foi feito na primeira versão do curso, optou-se por estudar a técnica de extração do corante por solvente, utilizando o etanol, e empregando desta vez a casca da cebola e o açafrão como matrizes vegetais. Novamente destacou-se os princípios de QV sobre a realização de atividade em temperatura e pressão ambiente e com a geração de resíduos de baixo risco.

Os estudantes identificaram em suas pesquisas as antocianinas e os curcuminóides como principais grupos constituintes da casca da cebola roxa e do açafrão, respectivamente. Foram apresentadas, então, as fórmulas estruturais da cianidina (estrutura de antocianina) e da curcumina e eeestudou-se as ligações químicas desses compostos, destacando a polaridade das cadeias carbônicas e as ligações intermoleculares que se estabelecem entre esses compostos e o solvente etanol, características que contribuem para a solubilidade.

Em relação à prática de indicadores ácido/base naturais, os estudantes afirmaram ter feito a pesquisa, porém, não se sentiram seguros para explicar como acontecia a mudança de cor. Então, estudou-se sobre as teorias ácido/base (Ahrrenius; Brönsted-Löwry e Lewis) e foram mostrados os equilíbrios promovidos pela protonação ou desprotonação das estruturas de antocianinas em diferentes faixas de pH (COUTO, RAMOS e CAVALHEIRO, 1998).

No final da aula, eles receberam o link do vídeo sobre cromatografia em camada delgada (CCD) do corante de açafrão, além do roteiro com questões para pesquisa e foram

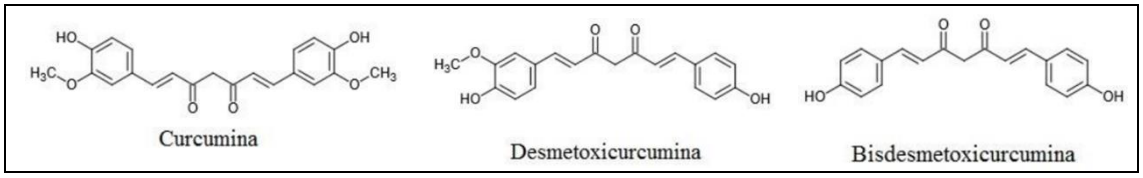
convidados a assistir a um vídeo sobre produção de perfume[12], como introdução ao estudo dos óleos essenciais.

Sendo assim, na quinta aula do curso, a discussão sobre corantes naturais foi retomada ao estudar sobre os resultados da CCD. Os discentes afirmaram que, a partir das suas pesquisas, compreenderam a técnica como um método de separação de substâncias, entretanto, não entenderam como isso acontece. Passou-se, então, a explicar por meio dos materiais e etapas do procedimento apresentados no vídeo: a mistura de substâncias (corante de açafrão) foi impregnada numa placa, cuja superfície porosa era composta por sílica (fase estacionária), e esse sistema entrou em contato com uma solução 5% de metanol em diclorometano (fase móvel). Individualmente cada uma das substâncias do corante interagiu com ambas as fases e avançou pela placa empurrada pela fase móvel, de acordo com a intensidade das suas interações (RUIZ et al., 1991).

Para explicar os fatores de retenção encontrados na prática, concentrou-se o estudo nas ligações químicas estabelecidas entre as substâncias da mistura e a fase estacionária. Os alunos encontraram nas suas pesquisas os principais constituintes do corante de açafrão (curcumina, desmetoxicurcumina e bisdesmetoxicurcumina), cujas estruturas químicas foram apresentadas na aula (Figura 13), assim como a fórmula estrutural da sílica.

Assim, após analisar as ligações químicas dessas moléculas, perceberam que todos os compostos interagiam por ligações de hidrogênio e que o fator diferencial era a existência de grupos metóxi (-OCH_3) na curcumina e desmetoxicurcumina. Estes estabelecem ligações de hidrogênio intramoleculares que diminuem a intensidade de interação dessas substâncias com a sílica, conforme observado na placa cromatográfica.

Figura 13 – Curcuminóides presentes no açafrão.



Fonte: FAGUNDES; 2014.

[12] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=FPNzA8fCe_s> Acesso em: 16 mai 2021.

De acordo com Degani, Cass e Vieira (p.21, 1998), “a grande variedade de combinações entre fases móveis e estacionárias torna a técnica extremamente versátil e de grande aplicação”. O vídeo indicado aos alunos sobre a produção de perfumes, por exemplo, indica o uso da cromatografia gasosa como método físico-químico de identificação dos constituintes de óleos essenciais, que são utilizados na fragrância.

Nesse contexto, iniciou-se a discussão sobre esse tema, destacando as propriedades e aplicações desses materiais que, são obtidos como subprodutos da indústria de sucos, por exemplo. E assim como foi feito na primeira versão do curso, foram abordados aspectos que envolvem o funcionamento de uma indústria produtora de suco de laranja, destacando impactos sociais, econômicos e ambientais, visto que o Brasil possui posição de destaque na produção de óleos essenciais de cítricos. No entanto, em relação à prática experimental de obtenção do óleo essencial da casca da laranja, optou-se por realizar a hidrodestilação desta vez. Os vídeos foram enviados como atividade assíncrona em conjunto com o roteiro e questões para pesquisa.

Nesta técnica, a matriz aromática “permanece em contato com a água fervente, podendo estar completamente imersa ou flutuando, [...] a fase de vapor, composta por vapor de água e óleo essencial, flui para o condensador, onde há a formação de duas fases, água e óleo” (BUSATO et al., p.1575-1576, 2014), que são recolhidas em balão coletor. Desta forma, ressaltou-se que o óleo tem baixo grau de solubilidade na água e a sua obtenção ocorre por arrastamento do vapor.

Aproveitou-se, então, para discutir sobre a estrutura química do principal constituinte do óleo essencial da laranja (limoneno). Os estudantes pesquisaram sobre o composto e encontraram possibilidades de aplicação tanto para fins medicinais quanto para a indústria química. A cadeia carbônica, a função orgânica (hidrocarbonetos), a polaridade da molécula e as ligações intermoleculares atuantes foram estudadas, assim como na primeira versão do curso. Entretanto, aprofundou-se um pouco mais o estudo ao apresentar o isômero espacial do limoneno presente na casca do limão, abordando apenas o conceito de isomeria e carbono quiral.

Nesse procedimento experimental, a etapa de isolamento do óleo foi incluída e, por isso, estudou-se sobre a decantação, que é um método de separação de misturas muito empregado no caso de substâncias imiscíveis, e costuma ser complementado pela adição de um agente secante, que remove o resíduo de água ainda presente no óleo. No

experimento realizado, utilizou-se cloreto de cálcio anidro, que interage por ligações íon-dipolo com as moléculas de água, promovendo a sua remoção.

Por fim, utilizou-se duas métricas de massa para avaliar a eficiência do processo e a geração de resíduos: Eficiência de Material (ME) e Fator Ambiental (Fator E), que se relacionam diretamente aos princípios 2 e 1, respectivamente.

A ME é a razão entre a massa de produto efetivamente obtido e a massa total de substâncias reagentes expressa em porcentagem (MACHADO, 2014). No procedimento realizado, os alunos calcularam a ME a partir dos valores de massas mostrados no vídeo, e obtiveram um resultado inferior a 1%. Discutiu-se, então, sobre esse resultado ser comum no caso dos óleos cítricos (BIZZO, HOVELL e REZENDE, 2009), justificando seu alto custo de venda.

Em relação ao Fator E, de acordo com Sheldon (2017), autor da métrica, esta corresponde a quantidade real de resíduos produzidos no processo, levando em consideração todas as etapas e substâncias auxiliares envolvidas. No caso da hidrodestilação realizada, os estudantes calcularam um valor superior a cem, significando um procedimento com grande impacto ambiental negativo.

Esse resultado era esperado, visto que, os óleos essenciais são produtos das indústrias de Química Fina e Farmacêutica, consideradas muito poluidoras, pois obtêm produtos em pequenas quantidades e frequentemente acompanhados pela grande geração de resíduos (MACHADO, 2014), fato corroborado pela baixa eficiência de material.

Por fim, concluiu-se que embora seja um método amplamente utilizado, a técnica necessita de aquecimento, não contribuindo para o princípio de QV sobre eficiência energética. Além disso, o processo de destilação envolve um gasto muito grande de água. Por isso, nesta prática empregou-se uma bomba para fazer circular e reduzir a quantidade de água utilizada, resfriando algumas vezes o sistema com banho de gelo.

Na sétima aula, partindo da temática sobre bioplásticos, introduziu-se o princípio 10 de QV, que aborda a degradabilidade dos compostos e impacta consideravelmente o ambiente. Os estudantes receberam os links de vídeos sobre as matérias-primas de obtenção[13] e os tipos de plástico[14], além da gravação do processo de obtenção de um

[13] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=NTtyMoNftrg> Acesso em: 16 mai 2021.
[14] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=rB9GPhOTwFQ> Acesso em: 16 mai 2021.

bioplástico, a partir do bagaço da laranja, momento em que o estudo de atividades experimentais que envolvem reações químicas foi iniciado.

Os plásticos são originalmente derivados do petróleo. Em geral, possuem baixo custo de produção, grande variedade de tipos e, consequentemente, alta versatilidade de aplicação, fatores responsáveis por sua crescente demanda. Sua composição química é constituída por polímeros, que são macromoléculas formadas por unidades menores, chamadas de monômeros. Nesse sentido, foram apresentadas aos alunos as fórmulas estruturais do etileno e do propileno, que são dois monômeros de grande aplicação industrial. Estudou-se, então, sobre as classes dos hidrocarbonetos e as características da polimerização por adição.

Entretanto, ressaltou-se que, apesar do grande valor econômico, este material leva muito tempo para se degradar no ambiente, gerando acúmulo de resíduos, que impactam drasticamente a natureza. Desta forma, "o impacto ambiental do uso desses materiais tem incitado o desenvolvimento de substitutos biodegradáveis a partir de fontes naturais renováveis" (SILVA, BRINQUES e GURAK, p.2, 2020).

Segundo Lackner (2015), os bioplásticos são definidos pela associação europeia de bioplásticos, como polímeros derivados de matéria-prima renovável ou biodegradáveis ou ainda que possuem ambas as propriedades. Esse material é fruto da inovação tecnológica e, além de reduzir os impactos ambientais, tem se tornado competitivo, gerando benefícios socioeconômicos (AMORIM, 2019).

Como forma de enriquecer a discussão e esclarecer um possível falso entendimento a respeito desses produtos, assistiu-se a um vídeo[15] em aula sobre o polietileno produzido a partir da cana-de-açúcar, mais conhecido como plástico verde. Parte do processo de obtenção contribui para a captura e fixação de gás carbônico na atmosfera; entretanto, o produto tem as mesmas características do polímero derivado de matéria-prima fóssil, ou seja, não é biodegradável, e, portanto, precisa de atenção em relação ao seu descarte, podendo ser reciclado.

O bioplástico preparado no curso (Figura 14) foi obtido a partir da elaboração de uma solução filmogênica (SILVA, BRINQUES e GURAK, 2020), na qual empregou-se o bagaço de laranja como agente formador do filme, água como solvente e glicerina como

[15] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=zmomXpxrIjI> Acesso em: 16 mai 2021.

plastificante. Os estudantes pesquisaram sobre a importância deste último componente para a obtenção de um material flexível e menos quebradiço. Além disso, identificaram que o bagaço é constituído em sua maior parte por açúcares como glicose e frutose, e polissacarídeos como a pectina, a celulose e a hemicelulose.

Figura 14 – Bioplástico produzido a partir do bagaço da laranja.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com Rivas et al. (2008), a pectina é o carboidrato presente em maior quantidade na laranja e, por isso, a sua estrutura química foi apresentada destacando as funções orgânicas ácido carboxílico, éster, éter e álcool.

Os discentes não conseguiram apontar um possível agente formador do filme e, então, discutiu-se sobre o fato de as pesquisas sobre esse bioplástico serem muito recentes e ainda não haver na literatura científica dados disponíveis a respeito do processo reacional. Portanto, seria necessário caracterizar futuramente o produto dando prosseguimento a investigação.

Por fim, destacou-se que o processo realizado utilizou matéria-prima renovável e empregou materiais seguros, além de gerar resíduos de baixo risco e produto biodegradável. No entanto, foi realizado com aquecimento, prejudicando a eficiência energética.

Na última aula do módulo I, discutiu-se sobre o conjunto dos princípios de QV, que foram relacionados às características dos processos apresentados ao longo do curso. Explicou-se, então, sobre a análise da verdura química e a possibilidade de avaliar previamente um protocolo experimental a partir de métricas, como a matriz verde. A importância da FISPQ foi destacada como instrumento que auxilia na prevenção de

acidentes químicos, ao fornecer informações sobre os riscos à saúde e ao ambiente e a reatividade das substâncias envolvidas nos processos. Assim, mostrou-se o caminho para a construção das matrizes verdes, iniciando com a elaboração do inventário das substâncias, a verificação do cumprimento dos princípios de QV e a identificação de oportunidades e ameaças ao processo.

Neste primeiro módulo, os estudantes foram orientados a produzir um texto, no formato de resumo, apresentando os resultados de uma pesquisa sobre práticas sustentáveis realizadas nas suas áreas técnicas de estudo, no caso dos discentes do CEFET/RJ, ou em qualquer área, para os alunos do Colégio Pedro II. Eles se organizaram em grupos de até três participantes e receberam um modelo de resumo com informações sobre a formatação do texto para ser entregue em um prazo de vinte dias.

Devido ao período de festas de fim de ano e ao recesso previsto no calendário letivo do CEFET/RJ, decidiu-se interromper as aulas do curso, que foram retomadas com o início do módulo II, após uma pausa de quarenta e cinco dias.

Nesse espaço de tempo, os resumos foram avaliados e devolvidos aos estudantes com sugestões. Todos fizeram a pesquisa de acordo com a proposta e os temas abordados foram: sustentabilidade em telecomunicações; energia elétrica; materiais sustentáveis em construção civil; descarte de equipamentos eletroeletrônicos e energias renováveis.

No entanto, foram identificados erros comuns relacionados a construção do texto como, formatação, ausência de referências bibliográficas ou problemas na forma de citar e confusão entre introdução e resultados. Por esse motivo, na primeira aula do módulo II, realizou-se uma discussão sobre essas questões, de modo a esclarecer dúvidas e contribuir para que escrevessem seus textos de forma mais clara e organizada.

A segunda parte do curso priorizou temas que envolvem reações químicas para a experimentação. Sendo assim, a partir da segunda aula, iniciou-se uma discussão sobre biocombustíveis. Os estudantes assistiram de modo assíncrono os episódios da série sobre a produção industrial de etanol e os vídeos dos experimentos sobre determinação da concentração de sacarose no caldo de cana, diluição, fermentação alcoólica, destilação e identificação de álcool.

Desta forma, foi trazido à tona questões sobre a crescente demanda mundial de energia em contraste com as limitações e os impactos causados pela indústria de petróleo, fatos que incentivam cada vez mais a diversificação da matriz energética. Nesse sentido,

destacou-se o uso de recursos renováveis como fonte de matérias-primas para a produção de combustíveis, por exemplo, os chamados biocombustíveis que, além de diminuir a dependência de produtos fósseis, contribuem para o ciclo do carbono, reduzem as emissões de gases poluentes e os gastos com saúde pública, e geram emprego e renda.

Em relação aos aspectos que envolvem a produção industrial de etanol, além de discutir sobre os mesmos itens apresentados no relato da primeira versão do curso, foi introduzido um estudo sobre as etapas dessa produção, adaptadas ao laboratório de ensino, apresentando operações prévias e posteriores ao processo reacional. Ressaltou-se o uso de matéria-prima renovável, a geração de resíduos de risco baixo e a obtenção de produto seguro.

Outro ponto importante de discussão foi que o etanol, além de ser utilizado como combustível no abastecimento direto dos veículos (etanol hidratado), também é introduzido na gasolina (etanol anidro), como forma de reduzir a emissão de gases poluentes e melhorar o índice de octanagem.

A obtenção do etanol ocorre por meio da fermentação do açúcar extraído da cana, que é fonte de carbono para os microrganismos. Segundo Pereira, Macri e Gimenez (p.46, 2020), “a concentração adequada de nutrientes do mosto é extremante importante, pois em quantidades insuficientes ou exageradas, pode ter resultados negativos sobre o processo fermentativo como um todo”. Assim, na segunda aula, falou-se sobre a importância de determinar quantidade de sacarose presente no caldo de cana, a partir do estudo do título em massa e da concentração comum de soluções, bem como o conceito de diluição e os cálculos necessários para a realização do procedimento.

Na aula seguinte, concentrou-se o estudo no processo fermentativo e no isolamento do etanol por destilação.

A sacarose presente no caldo de cana é utilizada como fonte de carbono pelas leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*), que possuem enzimas sacarase, capazes de hidrolisar o açúcar em glicose e frutose. Esses monossacarídeos, em presença de outras enzimas específicas, são convertidos em etanol, com desprendimento de gás carbônico (BARBOSA, 2013). Neste momento, destacou-se que o uso de catalisador biológico torna o processo mais verde, conforme o princípio 9 de QV.

Assim, foi estudado sobre as características desse processo bioquímico e destacadas as evidências de uma reação. Os estudantes foram questionados sobre a função

da solução saturada de hidróxido de cálcio usada no experimento, e concluíram que foi empregada para evidenciar a liberação de gás na fermentação, uma vez que, ao reagir com a base gerou um precipitado branco de carbonato de cálcio.

Na sequência, discutiu-se sobre a utilização da destilação fracionada como método de separação para isolar o etanol. Os alunos pesquisaram anteriormente e apontaram a escolha da técnica como ideal para a separação de misturas homogêneas de líquidos. Além de abordar os conceitos que envolvem o procedimento, ressaltou-se que, embora o uso de aquecimento comprometa o princípio da eficiência energética, é amplamente empregado por ser eficiente no isolamento do produto.

Para essa aula, também foi solicitado que eles calculassem o rendimento da reação, a partir dos valores apresentados nos vídeos. Entretanto, a maioria dos participantes era constituída por alunos da primeira série que, naturalmente apresentaram dificuldade na realização da tarefa, por falta de domínio do conteúdo. Desta forma, foi introduzido o conceito de mol e apresentados os cálculos estequiométricos que envolvem a determinação do rendimento de uma reação química.

A discussão sobre a produção de etanol foi finalizada na aula seguinte, a partir do vídeo de experimentação sobre a identificação de álcool. A adição de um agente oxidante provoca uma reação redox em álcoois primários, como o etanol. Esse processo é evidenciado pela mudança de cor da espécie que sofre redução. Alguns estudantes propuseram realizar a queima do produto, como forma de verificar a obtenção do combustível, e isso ficou como sugestão para turmas futuras.

Dando continuidade ao curso, manteve-se a abordagem sobre biocombustíveis, passando a focar na produção de biodiesel. Os participantes assistiram, de modo assíncrono, dois vídeos[16,17] sobre o tema e, na aula síncrona, novamente foram apontados os benefícios de uso desse produto, semelhantes aos estudados na produção do etanol, bem como a posição relevante do Brasil devido à sua diversidade de biomassa. Entretanto, foi destaque dessa aula a discussão realizada com os estudantes sobre o dilema de uso da terra para cultivo alimentar ou para a obtenção de insumos para a indústria de biocombustíveis.

[16] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=AEfGJ619Gvs> Acesso em: 27 mai 2021.
[17] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=CBKKoq_HxYA> Acesso em: 27 mai 2021.

Os discentes mostraram-se preocupados sobre o quanto essa prática contribui para uma competição que pode ter como consequência o agravamento da questão alimentícia no país. De acordo com Suarez et al. (p.768, 2009), “a realidade brasileira garante alguma tranquilidade no que diz respeito à disponibilidade de áreas para o cultivo de matérias-primas dos biocombustíveis para abastecer o mercado local”, enquanto a maioria dos demais países não conta com a mesma sorte.

Por isso, foi debatido com os alunos sobre a importância da pesquisa no sentido de encontrar novas matérias-primas e desenvolver novas tecnologias de produção. Atualmente, existe uma demanda de produção de biodiesel a partir de gordura animal e óleos não comestíveis, como os residuais de fritura, que são chamados de segunda geração e ainda os provenientes de microalgas, conhecidos como biodiesel de terceira geração (AMBAT, SRIVASTAVA, SILLANPÄÄ, 2018).

Nesse contexto, a quinta aula se iniciou com o estudo das características das gorduras e óleos utilizados como matéria-prima na produção de biodiesel, uma vez que elas influenciam diretamente na qualidade deste produto. Desta forma, ressaltou-se que o teor de ácidos graxos saturados e polinsaturados presente nesses insumos é um aspecto tecnológico importante no processo de obtenção do biocombustível, já que um alto teor de saturados favorece a sua solidificação em temperaturas mais baixas, enquanto grande quantidade de insaturação contribui para a oxidação do produto.

Nesse sentido, os estudantes receberam o link com a gravação do experimento do teste de insaturação em manteiga e óleo de soja, e verificaram que o resultado foi positivo apenas para o último. Assim, explicou-se sobre o grupo funcional característico dos triglicerídeos e a reação de adição em compostos insaturados, que permitiu a realização do teste. Aproveitou-se a oportunidade para estudar sobre isomeria geométrica, processo que dá origem às chamadas gorduras trans, que costumam ser dúvida entre os estudantes.

Ainda nessa aula, discutiu-se sobre a reação de transesterificação que dá origem ao biodiesel e, assim como foi detalhado em seção anterior, foram abordados os seguintes pontos de estudo: as vantagens e desvantagens do uso de óleo residual de fritura; o uso de etanol como solvente mais seguro do que o metanol, apesar de menos reativo; a obtenção de dois produtos de reação em fases diferentes; o processo de catálise homogênea, suas vantagens e limitações; a neutralização do catalisador como forma de gerar resíduos menos perigosos e o baixo rendimento da reação.

Nesta turma, foi ampliado o estudo sobre o processo catalítico da reação, que pode ser homogêneo, heterogêneo ou enzimático (SHAHID e JAMAL, 2011; MOAZENI, CHEN e ZHANG, 2019).

O primeiro é o mais empregado devido à alta taxa de conversão, menor tempo de reação e custo mais baixo, gerando, no entanto, alto volume de efluentes devido à toxicidade do catalisador. O processo heterogêneo é considerado mais verde, pois possibilita, entre outras coisas, reutilizar o catalisador, gerando menos efluentes, e obter produtos mais puros, porém apresenta maior gasto energético, baixa conversão e custo de produção mais alto. A catálise enzimática tem sido amplamente investigada, já que pode ser realizada em condições amenas, tem alta seletividade e conversão, além de produzir glicerina de alta qualidade; todavia, o tempo de reação é longo e as enzimas possuem alto custo de produção.

Em escala laboratorial, optou-se por realizar a catálise homogênea básica, porém em temperatura ambiente e pela rota etílica. De acordo com os princípios de QV, o gasto energético foi reduzido e foram empregadas substâncias reagentes menos perigosas. Entretanto, obteve-se baixo rendimento do processo.

Em relação ao biodiesel obtido no laboratório, visualmente seu aspecto é muito semelhante ao óleo utilizado como reagente e, por isso foi determinada a viscosidade relativa dos dois materiais para efeito de comparação. A partir dos tempos de escoamento mostrados na gravação do experimento, os estudantes calcularam os valores da propriedade e verificaram que o produto da reação era menos viscoso do que o óleo. Desta forma, discutiu-se na aula seguinte sobre o caráter intenso dessa propriedade ser um impedimento para a utilização direta dos óleos vegetais no motor. Entre outros fatores, a alta viscosidade pode causar a queima incompleta do combustível.

Nesse sentido, para a inserção de um combustível em uma matriz energética, devem ser verificados aspectos como o desempenho no motor, possíveis emissões, segurança no armazenamento e transporte, eficiência na queima e impacto ambiental. Por isso, a Agência Nacional do Petróleo (ANP) determina parâmetros para a verificação da qualidade do biodiesel, que é constatada a partir de ensaios físico-químicos realizados pelo produtor (RANP45/2014).

Finalmente, encerrou-se a discussão dessa temática falando sobre o destino do glicerol, coproduto da reação de obtenção do biodiesel. Essa substância tem aplicação em

diversos setores como cosméticos, higiene pessoal, alimentos, medicamentos e fumo (MOTA, SILVA e GONÇALVES, 2009), além da indústria química; e com o aumento da produção de biodiesel, novas utilizações comerciais têm sido desenvolvidas.

Ampliou-se, então, a discussão sobre o reaproveitamento de coprodutos, retomando o conceito de economia circular, brevemente introduzido no primeiro módulo por meio do vídeo "A história das coisas". Como atividade assíncrona, os alunos receberam um vídeo complementar[18] abordando especificamente as características desse modo de economia, destacando aspectos sustentáveis como reuso, reciclagem, remanufatura e reparo.

Segundo Beatriz, Araújo e Lima (2011), dentre os principais consumidores de glicerina, pode-se destacar as saboarias, onde é utilizada na forma bruta, principalmente como umectante. Nesse sentido, na segunda parte da sexta aula, foi iniciada uma discussão sobre a fabricação do sabão. Os estudantes assistiram, previamente, um vídeo[19] que apresentou informações sobre o processo de fabricação industrial, as matérias-primas empregadas, as evidências da reação química, alcalinidade, as utilidades do produto, as propriedades que conferem poder de limpeza, além dos impactos socioeconômicos, como geração de emprego e renda.

A respeito da experimentação, o primeiro vídeo enviado foi sobre a síntese do sabão, na qual foi utilizado novamente o óleo residual de fritura e foi incorporada a glicerina obtida na produção do biodiesel. Assim, estudou-se sobre a reação de saponificação, a função química sal orgânico e sobre o processo exotérmico de dissolução do hidróxido de sódio em água, que pressupõe cuidado na manipulação para evitar acidentes.

Além disso, levando em consideração as medidas de segurança impostas pela pandemia da COVID 19, os discentes assistiram a um vídeo[20] sobre a eficiência do sabão contra o coronavírus. Desta forma, nas duas aulas seguintes, estudou-se sobre algumas propriedades do sabão, a partir de experimentos sobre solubilidade, alcalinidade, detergência em águas duras e tensão superficial.

---

[18] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=KiWW_OIWF7M> Acesso em: 27 mai 2021.

[19] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=tpGPm114fJ0> Acesso em: 27 mai 2021.

[20] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=s2EVlqql_f8> Acesso em: 27 mai 2021.

Na prática de solubilidade, os estudantes perceberam que o óleo e água formam uma mistura heterogênea, enquanto o sabão apresenta bom grau de dissolução quando em contato com cada um desses componentes. O primeiro sistema foi naturalmente explicado pelos alunos, pois já haviam estudado sobre o caráter altamente polar da água e a estrutura química dos triglicerídeos presentes no óleo, essencialmente apolares, devido as longas cadeias carbônicas. Desta forma, as interações entre as moléculas desses compostos são muito fracas, desfavorecendo a solubilidade.

Para explicar sobre os demais sistemas apresentados no experimento, os discentes pesquisaram sobre a estrutura química dos sais orgânicos constituintes do sabão e trouxeram aspectos relacionados a polaridade como justificativa dos resultados verificados nos testes de solubilidade.

Assim, esse estudo foi ampliado ao mostrar que a cadeia carbônica da molécula do sabão, chamada de cauda, constitui a parte hidrofóbica desse material, ou seja, não interage com a água devido ao caráter apolar. Entretanto, favorece a interação do material com óleos e gorduras, a partir das ligações de dipolo induzido e, por isso, o sistema óleo-sabão apresentou alto grau de solubilidade. Por outro lado, o grupo funcional da molécula do sabão, chamada de cabeça, constitui a parte hidrofílica, isto é, tem alta afinidade pelas moléculas de água, estimuladas pelas interações íon-dipolo, justificando a solubilidade observada no sistema água-sabão.

Segundo Lima et al. (2020), esse processo ocorre da mesma forma com a estrutura dos coronavírus. Estes microrganismos são revestidos por um envelope lipoproteico, que se desintegra e inativa ao interagir com as moléculas do sabão por meio das forças intermoleculares.

Outro aspecto importante dos sabões é a alcalinidade resultante do excesso de base empregado na reação química. Sendo assim, a determinação do pH por potenciometria é um dos ensaios físico-químicos realizados nos sabões para o controle de qualidade. Na prática laboratorial, optou-se por realizar o método colorimétrico usando a fita medidora de pH, apenas para fins de comparação entre o sabão produzido, o sabonete líquido comercial e o detergente.

Os estudantes verificaram que o sabão apresentou um pH entre 9 e 10, valor compatível com o parâmetro definido pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), enquanto os outros dois produtos apresentaram pH na faixa da neutralidade. De

acordo com Zago Neto e Pino (1997), os sabões alcalinos são mais eficientes para a limpeza, entretanto, o excesso de basicidade torna-os impróprios para uso. Por outro lado, os produtos utilizados para higiene pessoal ou contato direto com a pele, passam por um processo de ajuste de pH tornando-se menos cáusticos e, consequentemente, menos agressivos à pele.

Em seguida, foram comparadas algumas características entre o sabão e o detergente, por meio do teste de detergência em águas duras, que são caracterizadas pelo alto teor de cátions como cálcio e magnésio. A dureza das águas pode ser de origem natural ou antropogênica e não afeta a potabilidade; no entanto, diminui a eficiência do sabão e pode causar problemas para os processos industriais, de abastecimento de água e irrigação, devido às incrustações causadas nas tubulações (COSTA e FONSECA, 2016).

Nas suas pesquisas, os alunos apresentaram certa dificuldade para justificar o ocorrido no teste. Então, a partir dos elementos de estudo apontados pelos discentes, foi construída uma explicação. As moléculas do sabão em presença desses íons formam compostos insolúveis que dificultam a sua ação na limpeza, porém, o mesmo não ocorre com os componentes do detergente, que formam compostos mais solúveis quando em contato com águas duras, não prejudicando a sua ação.

Por outro lado, destacou-se que, embora os detergentes sejam mais indicados para esse tipo de água, são produzidos a partir do petróleo, matéria-prima não renovável, podendo ser biodegradável ou não, enquanto o sabão é de origem renovável e sempre biodegradável.

Ainda em relação à atuação do sabão, discutiu-se sobre o seu caráter tensoativo. Os estudantes assistiram um vídeo de experimento sobre o comportamento do sabão em meio salino e outros dois vídeos complementares[21,22] sobre tensão superficial, que é resultante da força atuante na superfície de líquidos.

Quando o sabão se dissolve na água, a parte hidrofóbica ocupa preferencialmente a superfície, reduzindo a força de coesão entre as moléculas do solvente e, consequentemente, a tensão superficial (BEHRING et al., 2004). Ocorre, então, a formação de micelas que permitem dissolver componentes não solúveis (gordura) nessas soluções, como observado no experimento. Por outro lado, a solução salina tem a tensão

[21] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=nPIlDaAX4vE> Acesso em: 27 mai 2021.
[22] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=pmagWO-kQ0M> Acesso em: 27 mai 2021.

superficial aumentada devido às interações íon-dipolo, afetando a ação do sabão quando em contato com superfícies oleosas.

Desta forma, finalizado o estudo sobre as temáticas experimentais e promoveu-se, na aula seguinte, uma síntese dos aspectos que permearam as discussões realizadas no curso, destacando o caráter controverso intrínseco aos temas tecnocientíficos e de qualquer fato social (CHRISPINO, 2017).

Nesse sentido, os estudantes assistiram previamente dois vídeos[23,24] sobre a pegada ecológica, um indicador que avalia a demanda de consumo de uma nação sobre os recursos naturais (HABEL, WACKERNAGEL e WRBKA, 2004).

Outro ponto de destaque dos vídeos foi o dia da sobrecarga da Terra, data estimada pela *Global Footprint Network*, que utiliza a relação entre a pegada e a biocapacidade do planeta para o cálculo. Esta data representa "o dia a partir do qual a demanda por recursos e serviços dos ecossistemas se mantém por meio da degradação do estoque de capital natural em determinado ano" (GONZALEZ e ANDRADE, p. 423, 2015). Ao longo dos anos essa data tem acontecido cada vez mais cedo, com exceção de 2020 em que o dia foi postergado, devido às consequências da pandemia da Covid-19.

Assim, os alunos perceberam que a implementação de estratégias que desacelerem esses impactos é uma tendência mundial entre empresas e indústrias. O mercado de carbono é um exemplo de artifício utilizado por essas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Isso quer dizer que a mitigação é contabilizada gerando créditos de carbono, que são comercializados em um ambiente institucional (CORBERA, ESTRADA e BROWN, 2009).

Além de discutir de modo global sobre essas questões, também se restringiu o assunto ao âmbito individual, como forma de incentivar a reflexão dos estudantes sobre seus hábitos e atitudes frente aos recursos do planeta. Solicitou-se, então, que calculassem sua pegada ecológica usando uma calculadora virtual e compartilhassem o resultado com a turma na aula síncrona. Foi ressaltado que os valores encontrados são estimativas, mas apesar das limitações do método matemático, refletem o nosso comportamento.

Aqueles que obtiveram altos valores mostraram-se surpresos e questionaram os demais sobre seus cálculos. Estes foram, então, convidados a compartilhar suas

[23] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=SD4zArzv96s> Acesso em: 27 mai 2021.
[24] Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=Q8gGQXAwIHo> Acesso em: 27 mai 2021.

experiências cotidianas e apontaram os seguintes fatores como os principais responsáveis pelos seus resultados: a preocupação com o consumismo, o uso de meios de transporte com menor emissão de poluentes e a menor geração de lixo.

Com isso, o estudo dos tópicos propostos para o curso foi finalizado e esclarecidas as dúvidas sobre o trabalho final que, foi feito em grupo de até três alunos e, consistiu na elaboração de um projeto sustentável na sua área técnica ou em prol da escola. A Tabela 19 apresenta informações sobre os projetos propostos.

Tabela 19 – Projetos propostos pelos alunos da segunda turma do curso.

Título	**Objetivo**	**Ensino Médio**
Logística reversa	Criar um ponto de coleta de resíduos eletrônicos reciclagem ou descarte consciente e leiloar aparelhos que não têm mais utilidade para os donos.	Técnico em Tele-comunicações
Sistema de geração de energia elétrica a partir de energia cinética	Transformar a energia mecânica das pedaladas de uma bicicleta ergométrica em energia elétrica para a iluminação ou carregamento de baterias de celular.	Técnico em Eletrotécnica
Condomínio sustentável	Utilizar o bagaço da cana para a produção de energia elétrica e concreto.	Técnico em Edificações
Remanufatura de osciloscópio - Remascil	Remanufaturar os osciloscópios dos laboratórios de eletrônica do CEFET/RJ que ainda podem ser usados.	Técnico em Eletrônica
PC gamer ligado a energia solar	Avaliar a viabilidade econômica do uso de um gerador alternativo de luz.	Técnico em Administração
Sabão ecológico	Promover a produção de sabão ecológico no Campus Maracanã do CEFET/RJ, a partir do óleo utilizado no cotidiano da instituição e arredores.	Técnico em Eletrotécnica e Eventos
Uso de corantes naturais para a produção de refis para canetas de quadro branco	Produzir tintas para marcadores de quadro branco usando urucum.	Regular

Fonte: Elaborado pela autora.

Após a leitura dos trabalhos, foi verificado que os estudantes superaram os erros apresentados na elaboração dos resumos, descrevendo suas propostas de modo claro e objetivo. Foi possível notar que fizeram uma pesquisa mais intensa sobre os assuntos, optando na sua maioria por temas técnicos e, ao mesmo tempo, correlacionados aos aspectos abordados no curso. E, ainda, preocuparam-se em estabelecer uma relação entre a proposição de projetos ambientalmente seguros, sua utilidade para a comunidade e suas viabilidades prática e econômica.

4.4.3- Resultados e discussão da pesquisa de opinião dos alunos sobre QV

Nas primeira e última aulas do curso, os estudantes responderam um questionário (Quadro 2) com perguntas objetivas sobre QV, sua implementação nas indústrias, impactos e relação com os ODS, de modo geral, visando a comparar suas opiniões prévia e posterior e, assim, identificar se as discussões provocaram alguma mudança de pensamento.

As questões foram elaboradas com base nos fundamentos de QV e nos conteúdos previstos na ementa do curso. Entretanto, pensando em tornar o processo de resposta curto e pouco cansativo para os estudantes, optou-se por construir apenas quatro questões objetivas e com múltiplas opções de respostas.

Quadro 2 – Pesquisa de opinião dos alunos sobre QV.

1) A Química Verde pode ser definida como um conjunto de princípios usados para a manufatura de produtos seguros e redução da quantidade de resíduo gerado. O que você pensa a respeito desse tema?
I) O grande problema não é a quantidade de resíduos gerados num processo de produção, mas a capacidade de desenvolver técnicas inovadoras para o tratamento desses resíduos.
II) A gestão ambientalmente adequada de resíduos está baseada na responsabilidade compartilhada, ou seja, a sociedade como um todo é responsável.
III) A geração de resíduos está vinculada a um caráter coletivo e não a hábitos individuais.
IV) Está relacionado ao meu dia a dia, uma vez que faço parte do meio ambiente.
V) A questões ambientais devem ser discutidas pelos profissionais da área.

2) A industrialização trouxe muitos benefícios para a sociedade, no entanto, os consequentes impactos negativos causados ao meio ambiente levaram à necessidade de uma reinvenção por parte destas indústrias. No caso das indústrias de processos químicos, a adoção de uma nova forma de atuação baseada em princípios da Química verde foi uma resposta para a grande geração de resíduos. Nesse sentido, que aspectos você considera ter relação com o novo modo de atuar dessas indústrias?
I) Adoção de princípios da sustentabilidade como ética, transparência, e respeito à sociedade e ao meio-ambiente.
II) Uso de biomassa para geração de energia ou como matéria-prima para a obtenção de novos produtos.
III) Reorganização do modelo econômico que substitui o conceito de fim-de-vida por novos fluxos circulares, num processo de integração.
IV) Verificação do impacto de produtos associados às atividades produtivas ao longo de todo o seu ciclo de vida.
V) Consumo das populações humanas sobre os recursos naturais.
VI) Utilização racional e consciente de substâncias e produtos químicos para a manutenção da saúde humana e do meio ambiente.
VII) Controle do consumo indireto de água, ou seja, aquele envolvido na fabricação de produtos.
VIII) Redução da exploração do meio-ambiente a partir de uma gestão de resíduos que invista em reciclagem, reaproveitamento e reprocessamento de materiais.
IX) Investimento em modelos de negócios que priorizem a performance dos produtos vendidos e não o volume de vendas.
X) Percepção de resíduos como novos produtos que possuem valor agregado.

3) As indústrias que buscam implementar os princípios da Química Verde nos seus processos de manufatura, tendem a torná-las sustentáveis. Esse processo de reestruturação promove impactos sociais, econômicos e ambientais nos segmentos envolvidos. Desta forma, selecione abaixo todos os itens que você considera como sendo um desses impactos.

I) Manter o equilíbrio entre a disponibilidade de matéria-prima e seu consumo, ou seja, não consumir mais do que a capacidade da natureza de repor.
II) Reduzir a quantidade de resíduos gerados.
III) Geração de empregos diretos.
IV) Desenvolvimento de projetos com as comunidades vizinhas.
V) Promoção de atividades voluntárias.
VI) Capacitação de profissionais.
VII) Aumento da terra destinada à sustentação da biodiversidade.
VIII) Controle e proteção dos animais.
IX) Produção de biomassa.
X) Geração de energia renovável.
XI) Aumento da inclusão de profissionais socialmente excluídos.

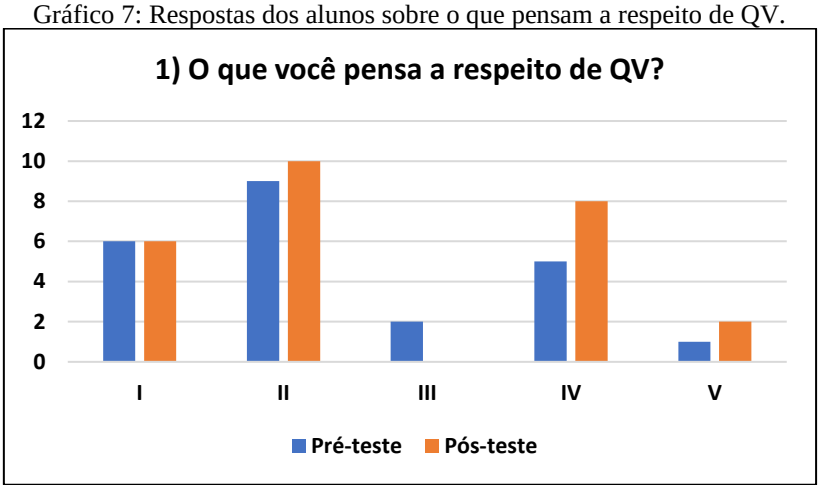
4) Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) definiu um conjunto de metas a serem cumpridas para todas as nações e povos e para todos os segmentos da sociedade. A seguir, encontram-se listadas algumas dessas metas. Selecione aquelas que você considera ter relação com os conceitos de Química Verde.
I) Aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.
II) Proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, incluindo montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos.
III) Modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para que tenham sua eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente corretos.
IV) Minimizar e enfrentar os impactos da acidificação dos oceanos, inclusive por meio do reforço da cooperação científica em todos os níveis.
V) Empoderar e promover a inclusão social, econômica e política de todos, independentemente da idade, gênero, deficiência, raça, etnia, origem, religião, condição econômica ou outra.
VI) Reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipais e outros.
VII) Reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.
VIII) Integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais.
IX) Combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado.
X) Adotar e implementar regimes de promoção de investimentos para os países menos desenvolvidos.

Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados dessa pesquisa estão apresentados nos gráficos a seguir.

A QV guarda no seu cerne a prevenção em detrimento da remediação, no entanto, quase 50% dos estudantes ainda acreditam que a geração de resíduos não é uma questão se houver tratamento adequado, como mostra o Gráfico 7.

Gráfico 7: Respostas dos alunos sobre o que pensam a respeito de QV.



Fonte: Elaborado pela autora

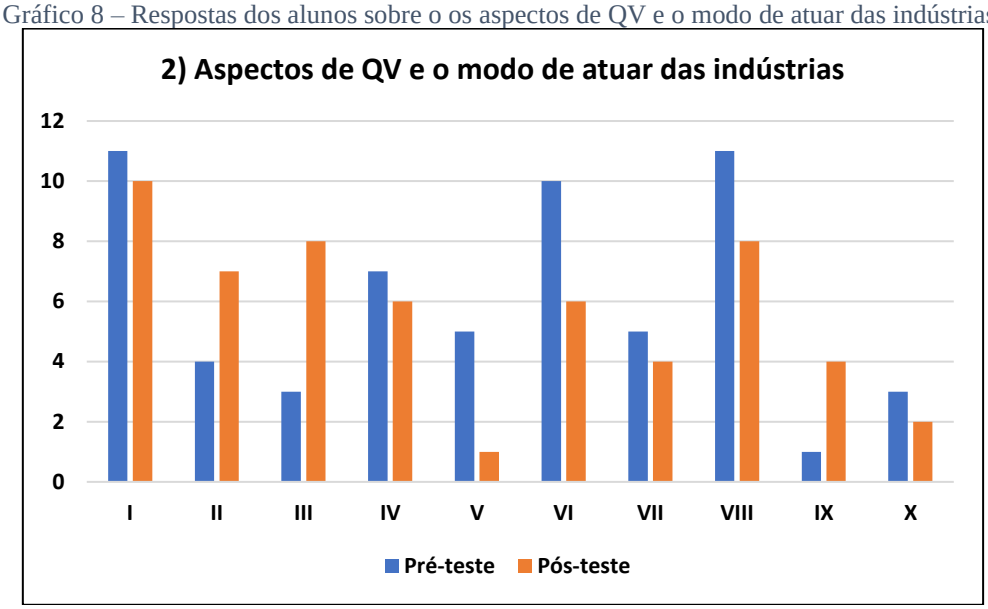
Esse resultado leva a reflexão de que a mera exposição de conteúdo, como a definição de QV, por exemplo, contribui muito pouco para a aprendizagem. Esta é uma característica da concepção propedêutica de ensino de Ciências que, de acordo com Auler (2007), não é efetiva quando não se pretende formar cientistas.

Assim, é preciso criar meios que deem significado e, nesse sentido, acredita-se que a experimentação é um caminho possível, mas foi pouco explorada nesse aspecto do curso. A maioria das práticas apresentadas teve geração de resíduos, mas não mostrou o processo de descarte e, talvez, essa tivesse sido uma oportunidade para melhorar o entendimento dos alunos sobre o propósito preventivo da QV.

Outro ponto importante em relação a primeira pergunta refere-se à responsabilidade sobre a geração e a gestão de resíduos. Embora uma pequena parcela dos alunos considere que os especialistas são os responsáveis por discutir essas questões, a maioria apresentou um entendimento prévio de que a sociedade, de modo geral, tem participação direta ou indireta e esse pensamento se confirmou posteriormente e parece ter sido ampliado ao verificar o aumento do número de estudantes que considera impactantes os hábitos cotidianos e individuais.

As respostas sobre os aspectos que se relacionam com o modo de atuar das indústrias (Gráfico 8), que buscam adotar práticas mais verdes, indicam que os estudantes mantiveram a opinião sobre a importância da ética e o respeito ao meio ambiente.

Gráfico 8 – Respostas dos alunos sobre o os aspectos de QV e o modo de atuar das indústrias.



Fonte: Elaborado pela autora

Esse era um resultado esperado, pois, além de terem sido discutidos ao longo do curso, esses fatores são abordados nos diversos segmentos do ensino básico, ou seja, é algo que vem sendo construído ao longo da vida dos discentes.

Além disso, merece destaque o aumento expressivo do número de alunos que apontou o uso de biomassa e economia circular como importantes na atuação industrial, indicando que inicialmente tinham pouco conhecimento a respeito dos assuntos, e hoje conseguem reconhecê-los como práticas mais verdes.

Alguns assuntos como o consumo indireto de água e a percepção de resíduos como produtos de valor agregado não tiveram abordagem acentuada no curso e mantiveram a baixa indicação prévia e posterior. Entretanto, a performance de produtos, embora tenha sido pouco explorada, teve um crescimento relevante nesse contexto. Por isso, acredita-se que a dinâmica do curso contribuiu, em alguma medida, para a flexibilidade de pensamento dos alunos, que foram capazes de expandir a sua habilidade de estabelecer conexões sobre os conteúdos.

Por outro lado, o uso de produtos químicos mais seguros teve queda significativa nas respostas, indicando que alguns estudantes deixaram de reconhecer essa prática como essencial em QV.

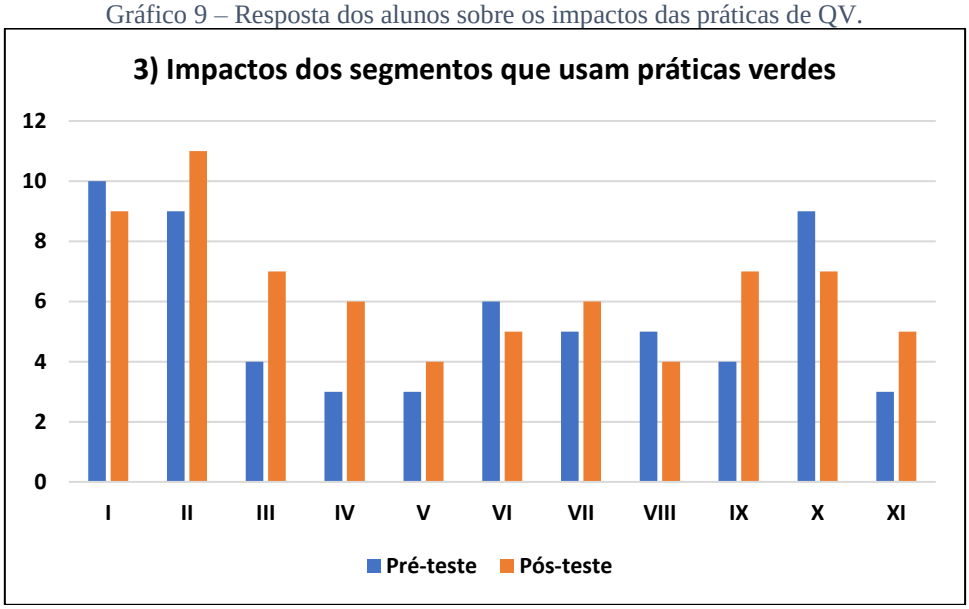
Novamente, a experimentação pode ser apontada como uma possibilidade para esclarecer esse pensamento, visto que, o estudo das FISPQ antes da realização dos experimentos contribui para o entendimento sobre os riscos à saúde e ao ambiente. E essa

atividade foi considerada desnecessária ao curso remoto, já que os alunos não iriam manipular os produtos químicos, ou seja, adotou-se uma visão reducionista a respeito da experimentação, perdendo, talvez, a oportunidade de manter a visão de determinados alunos e expandir a de outros sobre a importância do uso consciente desses materiais nas indústrias e laboratórios.

O ciclo de vida dos produtos foi reconhecido como item a ser considerado pelas indústrias e praticamente manteve boa indicação nas respostas, entretanto, o consumo de recursos naturais e a exploração do meio ambiente foram itens bastante discutidos no curso, porém, apresentaram redução relevante na sua indicação, requerendo investigação sobre a mudança de pensamento.

O Gráfico 9 apresenta os resultados das ideias dos estudantes sobre os impactos relacionados às práticas de QV e mostra um aumento do reconhecimento desses itens pelos alunos.

Gráfico 9 – Resposta dos alunos sobre os impactos das práticas de QV.



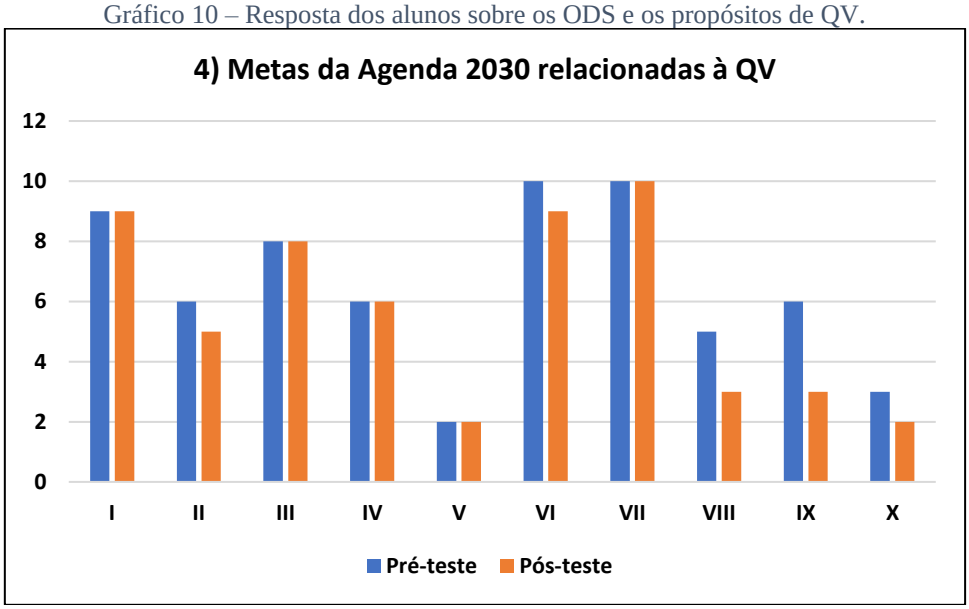
Fonte: Elaborado pela autora

É possível verificar que mais da metade dos participantes já considerava a biocapacidade da Terra, a redução de resíduos e a geração de energia renovável como possíveis consequências e, após o curso, esse número permaneceu alto, assim como aumentou a indicação dos itens geração de empregos e produção de biomassa por 50% ou mais alunos.

As orientações CTS propõem que o ensino de Ciências leve em consideração a contextualização social e tecnológica dos próprios conteúdos científicos, considerando que a educação científica não pode restringir-se ao ponto de vista propedêutico (ACEVEDO DIAZ, 2004). Desta forma, acredita-se que a abordagem dos processos produtivos sob diferentes aspectos (científicos, sociais, econômicos e ambientais) durante o curso pode ter contribuído para a construção do pensamento dos alunos a respeito dos impactos de QV.

Finalmente, sobre a relação entre as metas dos ODS e os propósitos da QV (Gráfico 10), não houve mudança significativa de pensamento, ou seja, os alunos ainda não conseguiram reconhecer as questões ambientais no contexto social, humano e político. Aikenhead (2009) aponta essa dificuldade de integração dos conteúdos científicos com o pensamento cotidiano como uma falha da abordagem tradicional de ensino.

Gráfico 10 – Resposta dos alunos sobre os ODS e os propósitos de QV.



Fonte: Elaborado pela autora

Entretanto, mesmo desenvolvendo uma proposta de ensino fundamentada no enfoque CTS, ainda nos deparamos com esse obstáculo. Dessa forma, acredita-se que esta visão requer um tempo de amadurecimento que, talvez, tenha sido insuficiente no curso para que os discentes pudessem superar o modo excessivamente disciplinar e descontextualizado como os conteúdos científicos costumam ser abordados regularmente.

Ademais, esse tipo de avaliação não garante maturidade e comprometimento dos respondentes, que são essenciais para a confiabilidade dos resultados. A realização do pós-teste, por exemplo, só foi concluída após ser atrelada a entrega do certificado de participação no curso.

Sendo assim, pretendeu-se entrevistar os alunos, de modo a investigar melhor os motivos que levaram a mudança ou não de pensamento. Entretanto, após o período que sucedeu o término do curso, não houve retorno ao solicitar contato novamente com os estudantes, impossibilitando expandir essa investigação.

5- ANÁLISE TEXTUAL DISCURSIVA DOS PROJETOS PROPOSTOS

A elaboração de projetos foi proposta aos estudantes como forma de verificar a sua capacidade de aplicação do conhecimento construído ao longo do curso. A análise desse material foi realizada a partir do método da análise textual discursiva segundo Moraes e Galiazzi (2014).

As duas turmas apresentaram 12 trabalhos ao todo: 5 decorrentes do curso presencial e 7 do curso remoto. Entretanto, na primeira turma houve um caso de plágio e, por isso, este trabalho foi desconsiderado, resultando consequentemente em 11 trabalhos, que caracterizaram o *corpus* da análise.

5.1- Primeira Turma – modo presencial

Como discutido anteriormente, os projetos da primeira turma apresentaram justificativa e discussão reduzida a respeito do tema. Entretanto, após leitura rigorosa dos textos, observou-se um esforço no sentido de articular os conceitos estudados no curso e os objetivos da proposta de trabalho. Sendo assim, o processo de unitarização resultou em unidades de sentido, que deram origem às seguintes categorias: Conceitos de QV e a proposta, e Intenção (Tabela 20).

Tabela 20 – Unidades de sentido e categorias do corpus da turma modo presencial.

Código	Unidade de Sentido	Categoria
P1	redução e eliminação de resíduos e subprodutos	Conceitos de QV e a proposta
P1	desenvolvendo produtos seguros com uso de fontes de energia renovável	Conceitos de QV e a proposta
P1	nesse processo a energia é provida pelo sol em abundância e todo "lixo" de uma espécie é alimento de outra	Conceitos de QV e a proposta
P2	o projeto acima mostra um mecanismo de reaproveitamento	Conceitos de QV e a proposta
P2	assim ele poupa economicamente e reutiliza a água da maneira certa e ambiental	Conceitos de QV e a proposta
P3	50% dos resíduos da zona urbana é orgânico, porém 1% desse montante é reaproveitado no Brasil	Conceitos de QV e a proposta
P1	obter um meio ambiente escolar sustentável, diminuindo resíduos que tem mais dificuldades de se decompor e que acabam poluindo o meio ambiente	Intenção
P2	a coleta da água da chuva possui diferentes tipos de benefícios para o meio ambiente e para a população mundial	Intenção
P3	que o meio ambiente seja beneficiado ou até ser transformado em uma fonte de renda	Intenção

P4	o que é bom para os gatos que tem no CEFET, pois iremos comprar ração, doar a cadeira de rodas para alguém que precisa.	Intenção
P4	retiraríamos as tampinhas do meio ambiente e os canudos que vamos utilizar para fazer o carrinho	Intenção

Fonte: Dados da pesquisa.

- Conceitos de QV e a Proposta

Os projetos elaborados visaram, de modo geral, a diminuir a geração de resíduos e esse pensamento foi abordado em dois contextos diferentes: citado como parte da definição de QV ou como material reaproveitado.

Embora diferentes autores apresentem a definição de QV com as suas próprias palavras, todos eles apontam a minimização da produção de resíduos como propósito bem estabelecido. O cerne da QV surgiu em um contexto de incentivo à realização de intervenções nos procedimentos químicos que culminassem em processos mais limpos. Por isso, a importância de os estudantes destacarem conceitualmente esse aspecto na confecção de seus projetos.

Outro aspecto muito apontado nos textos foi o reaproveitamento desses resíduos. Notou-se que os estudantes pensaram em dar utilidade a algo presente na escola que tivesse perdido a finalidade e, por isso, as propostas tiveram como ponto central o material descartado e a água. A reutilização é um processo que foi abordado no curso sob o contexto da economia circular e os estudantes enfatizaram nos textos as suas potencialidades. Por outro lado, discutiram pouco sobre as suas limitações, como o custo e a eficiência.

Do mesmo modo, percebeu-se que a quantidade de resíduos gerada foi um item preocupante para os alunos; enquanto outros como a sua periculosidade, a forma e o tempo de sua degradação não foram citados nos textos.

Assim, embora os conceitos de QV presentes no *corpus* de análise tenham sido estudados no curso e sejam perfeitamente pertinentes às propostas de trabalho final, parecem estar ainda muito ligados aos conhecimentos prévios dos estudantes, fato relevante ao pensar na consolidação desse conhecimento. De outra forma, acredita-se que a produção dos textos faz parte do processo de compreensão e amadurecimento dos novos conhecimentos construídos ao longo das aulas.

Nesse sentido, destaca-se uma aproximação acerca da dimensão ambiental da sustentabilidade e determinados propósitos do desenvolvimento sustentável, como aqueles pertinentes aos ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis). São metas desses objetivos o aumento substancial da reutilização segura de água, bem como o enfrentamento da sua escassez. Além disso, também são apresentados como finalidades o uso eficiente dos recursos naturais e o manejo ambientalmente seguro dos produtos químicos e de todos os resíduos ao longo do ciclo de vida.

Destaca-se também que o desenvolvimento de produtos seguros foi abordado como resultado do uso de energias renováveis. Duas questões muito importantes da temática de QV e que apareceram pouco na nuvem de palavras no início do curso.

É importante ressaltar que a discussão sobre o uso de energias renováveis apareceu como metodologia para a implementação dos projetos, mostrando articulação entre conceito e proposta. O incentivo à participação de energias renováveis na matriz energética, bem como o desenvolvimento de tecnologias que promovam a utilização e o fornecimento dessas energias são metas do ODS 7 (Energia Limpa e Acessível). Porém, a geração de produtos menos perigosos foi abordada enquanto teoria para fundamentar a escolha do trabalho, mas efetivamente não tinha a ver com a proposta do projeto.

- Intenção

Nesta categoria, foi possível identificar o intuito dos projetos elaborados, que se concentraram em três propósitos: benefícios ao meio ambiente; geração de renda e assistência social.

Os quatros trabalhos apresentaram forte apelo em prol do meio ambiente, principalmente, no sentido de reduzir a poluição, a partir do reaproveitamento. Nesse sentido, é possível perceber que os trabalhos enfatizaram questões relativas à saúde e ao bem-estar social, além de apresentar benefícios que envolvem aspectos econômicos.

A proposta de produção de adubo utilizando-se resíduos orgânicos, por exemplo, foi respaldada na quantidade de lixo gerada nas zonas urbanas, que acarretam impactos negativos ao meio ambiente quando dispostos em lixões ou demandam recursos para o descarte adequado. Além disso, essa discussão foi atrelada à necessidade de manter o

bosque existente na escola saudável. Desta forma, a presença desses dados mostrou uma preocupação do discente em fundamentar e justificar a realização do seu projeto.

Outro ponto de destaque foi a possibilidade de a proposta contribuir para a geração de renda. Uma ideia que não foi detalhada no texto e, portanto, não ficou claro se a renda seria para uso da escola ou da comunidade, mas que indicou apoio e incentivo ao empreendedorismo, à criatividade e à inovação.

Ainda sobre beneficiar o meio ambiente, a ideia de coletar tampas plásticas também contribui para a menor geração de lixo. Entretanto, esta intenção foi mais além ao trazer à tona o tempo de degradabilidade que demanda esse tipo de material, fator que impacta por mais tempo o meio ambiente.

Já o plano de reutilização da água da chuva mostrou a necessidade de uso consciente dos recursos naturais. O aproveitamento para a irrigação do bosque, por exemplo, resultaria em redução da taxa de consumo e, consequentemente, impactaria a despesa orçamentária da escola.

Por fim, outra percepção importante que emergiu da análise dos textos foi o caráter humanitário vinculado aos projetos sugeridos. A idealização de reduzir o lixo gerado na escola foi associada a outras causas sociais em dois trabalhos: compra de ração para animais abandonados e compra de cadeira de rodas para indivíduos com dificuldade de locomoção. Entretanto, acredita-se que ambos os casos foram inspirados em exemplos muito divulgados nas plataformas de pesquisa e mídias sociais, pois foram apresentados como intenções suplementares e sem conexão com os objetivos dos projetos.

Desta forma, apesar da dificuldade em expressar textualmente as conexões entre as suas ideias e o conteúdo discutido nas aulas, foi possível inferir nas categorias emergentes desse primeiro *corpus* o esforço dos discentes em articular conceitos estudados no curso de modo a apresentar propostas que atendessem a critérios da sustentabilidade.

5.2- Segunda Turma – modo remoto

Os projetos propostos pela segunda turma apresentaram unidades de sentido que também resultaram nas categorias da turma presencial (Conceitos de QV e a proposta e

Intenção). Entretanto, novas categorias emergiram no processo de leitura: Princípios de QV, Conhecimento Científico e Viabilidade.

Devido ao maior número de unidades de sentido obtidas na unitarização dos textos, essas categorias foram organizadas em diferentes tabelas que serão discutidas a seguir.

- Princípios de QV

Na Tabela 21, encontram-se as unidades de sentido das quais emergiu a categoria Princípios de QV.

Tabela 21 – Unidades de sentido e categorias do corpus da turma modo remoto.

Código	Unidade de Sentido	Categoria
R1	Sendo assim escolhemos utilizar o annato como corante natural da nossa tinta refil.	Princípios de QV
R2	Isso acarreta problemas gravíssimos para o meio ambiente e para nós mesmos, uma vez que os efeitos desse consumo de materiais não renováveis gera poluentes.	Princípios de QV
R3	O sabão a base de óleo age sob o mesmo princípio do sabão industrializado, porém a produção é feita a partir da reciclagem de um óleo já utilizado.	Princípios de QV
R4	Eletricidade a partir do bagaço da cana também é exemplo de energia renovável	Princípios de QV
R5	Isso acontece devido a utilização de diversas substâncias perigosas durante a produção desses equipamentos	Princípios de QV
R7	ao tentarmos fazer o desmonte de tais aparelhos é possível que tenha riscos de contaminação, ao serem manipulados de forma incorreta	Princípios de QV

Fonte: Dados da pesquisa.

A análise dos textos mostrou que os estudantes não citaram diretamente os princípios, mas em diversos momentos apontaram a necessidade do uso de fontes de matéria-prima renováveis (P7) e a preocupação sobre o uso de substâncias perigosas, além da geração de resíduos perigosos (P1, P3, P10 e P12).

A utilização de biomassa foi bastante discutida em alguns trabalhos, que sugeriram o emprego de óleo residual de fritura, corantes extraídos de plantas e bagaço de cana como matérias-primas para o desenvolvimento das propostas. Priorizar fontes renováveis faz parte do conjunto de práticas sustentáveis que geram produtos ambientalmente mais seguros, além de ser um princípio de QV.

Ainda nesse contexto, os alunos destacaram a possibilidade de esgotamento dos recursos não renováveis e, portanto, a importância de sua utilização consciente. Também se mostraram receosos em relação à geração de poluentes, ressaltando que o uso de fontes renováveis impacta menos o meio ambiente.

Sobre o uso de substâncias perigosas, este impede diretamente o cumprimento do princípio 3 (síntese segura), e pode levar à geração de resíduos também perigosos, impactando negativamente o princípio da prevenção (P1). Por isso, a sugestão de substituir esses materiais por outros derivados de recursos renováveis. Além disso, essa manipulação foi associada à possibilidade de causar riscos de contaminação. Desta forma, o princípio da prevenção de acidentes (P12) vem à tona, pois envolve tanto os riscos para o ambiente – a permanência dessas substâncias no ambiente pode causar sérios danos devido à dificuldade de degradabilidade (P10) – quanto para a saúde.

- Conceitos de QV e a proposta

As unidades de sentido que levaram ao surgimento da categoria Princípios de QV, em geral, relacionavam-se com as unidades de sentido que culminaram na categoria Conceitos de QV e a proposta, pois foram empregadas quase sempre como embasamento para as suas propostas.

Na Tabela 22, encontram-se as unidades das quais emergiu a categoria.

Tabela 22 – Unidades de sentido e categorias do corpus da turma modo remoto.

R1	Existem no mercado basicamente dois tipos e ambos são descartados após o uso, gerando uma enorme quantidade de lixo.	Conceitos de QV e a proposta
R2	Os efeitos dele atingiriam a muitas pessoas tanto na esfera que compreende a sustentabilidade, quanto no campo econômico e principalmente no viés da saúde de cada participante	Conceitos de QV e a proposta
R2	É esperado que se tenha uma visão compartilhada dos benefícios que um projeto sustentável pode trazer a uma comunidade, e os benefícios de estudar mais a fundo os conceitos de reduzir e reutilizar, conceitos verdes	Conceitos de QV e a proposta
R2	Além de promover a conscientização sobre a utilização de energia advinda de fontes renováveis	Conceitos de QV e a proposta
R2	O protótipo demonstra que é possível gerar energia com a utilização de fontes renováveis, ou seja, ele mostra que existe uma alternativa ao atual sistema que polui e degrada o ambiente	Conceitos de QV e a proposta
R3	A partir do óleo utilizado no cotidiano presencial da instituição	Conceitos de QV e a proposta

R4	Na área de edificações, existe muito potencial para novas formas de utilização dos recursos naturais de forma consciente, pensando nas gerações futuras.	Conceitos de QV e a proposta
R4	Ganho ambiental, que é a diminuição da extração da areia dos leitos dos rios.	Conceitos de QV e a proposta
R4	Então você consegue agregar valor no concreto produzido com esse resíduo.	Conceitos de QV e a proposta
R4	Trata-se da reciclagem de resíduos finos	Conceitos de QV e a proposta
R5	contribuindo para a redução dos resíduos depositados nos lixões, aterros ou vias públicas	Conceitos de QV e a proposta
R5	torna-se menor a quantidade de resíduos produzidos, uma vez que não haverá o descarte incorreto, em aterros ou lixões, de mais um eletroeletrônico	Conceitos de QV e a proposta
R5	Com o advento da obsolescência programada, a produção de eletroeletrônicos (EEE) passou a aumentar cada vez mais, acarretando impactos prejudicais tanto ao meio ambiente, quanto à saúde humana	Conceitos de QV e a proposta
R5	a cada ano são gerados no mundo cerca de 50 milhões de toneladas de lixo eletrônico e, desta quantidade, apenas 20% são reciclados corretamente	Conceitos de QV e a proposta
R5	Esse processo torna possível a preservação dos materiais e da energia que foram dispensados na fabricação desses produtos no ciclo inicial	Conceitos de QV e a proposta
R5	ao realizar esse conserto, ocorreria a extensão da vida útil do equipamento, o que acarretaria uma diminuição dos impactos causados ao meio ambiente	Conceitos de QV e a proposta
R6	Ao redor do mundo, o uso de energia renovável está aumentando	Conceitos de QV e a proposta
R7	serão destinados a empresas especializadas para sua reciclagem ou descarte consciente	Conceitos de QV e a proposta
R7	Todo o processo é conhecido como logística reversa.	Conceitos de QV e a proposta

Fonte: Dados da pesquisa.

Os trabalhos elaborados pela segunda turma apresentaram um número maior de conceitos de QV relacionados com as suas propostas. Foram colocados em pauta os seguintes assuntos: geração de resíduos, tripé da sustentabilidade, impactos ao meio ambiente e a saúde, processos de redução, reutilização e reciclagem, uso consciente dos recursos naturais, geração de produtos com valor agregado, obsolescência programada e seus impactos e logística reversa.

De modo esperado, todos os trabalhos apontaram a importância de propor projetos que minimizem a geração de resíduos. No entanto, essa discussão não foi tratada de modo geral, apenas para conceituar a QV; os estudantes buscaram dados específicos sobre as

suas propostas, indicando a necessidade e as vantagens de reduzir a produção de lixo em cada contexto sugerido.

Nesse sentido, destaca-se novamente uma aproximação aos ODS, em especial aos que se preocupam com a produção e o consumo sustentáveis. Estes objetivos apresentam metas que também foram citadas ao longo dos textos, como o uso eficiente dos recursos naturais e a redução substancial da geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.

Em relação aos recursos naturais, uma proposta específica na área de edificações mostrou várias possibilidades de uso eficiente desses recursos e suas vantagens (produção de argamassa, concreto, telhado, entre outras), além de ressaltar a importância de desenvolver novas tecnologias capazes de promover esse uso sustentável, ressaltando a importância da inovação industrial.

Ainda sobre a produção de resíduos, outros conceitos se desdobraram a partir dessa discussão, como a prática da redução e do reuso. A proposta de gerar energia elétrica para a iluminação de ambientes e carregamento de celulares apresentou dados sobre o consumo de energia elétrica ressaltando a importância da conscientização da comunidade para reduzir e evitar o consumo desnecessário, além de sugerir como metodologia do projeto a reutilização de itens que seriam descartados.

- Intenção

Essa categoria emergiu da percepção sobre uma série de propósitos mencionados nos textos além de seus objetivos centrais. A partir do processo de leitura foi possível identificar uma gama de intenções por trás da discussão sobre os resultados esperados dos seus projetos, bem como das justificativas para a sua implementação. Assim, a Tabela 23 apresenta as unidades de sentido que deram origem a categoria.

Tabela 23 – Unidades de sentido e categorias do corpus da turma modo remoto.

R1	Geralmente os corantes são sintetizados por indústrias petroquímicas a partir de derivados do petróleo e, portanto, possuem todos os problemas associados aos derivados dessa matéria.	Intenção
R2	É necessário se refletir sobre os processos que fizeram com que ele chegasse até nós, pois muitas vezes estes são danosos ao ambiente	Intenção

R2	Novas tecnologias para a produção de energia, que por sua vez agridam menos ao ambiente, com ideais voltados para a conservação e melhor aproveitamento dos recursos, ou seja, métodos mais verdes.	Intenção
R2	ajude a dar melhor compreensão de sustentabilidade aos alunos, além de ajudar em outros âmbitos como no consumo de energia sustentável e promoção de exercícios para uma vida mais saudável.	Intenção
R2	É esperado que ele traga um tipo de socialização entre as pessoas, uma forma de relação interpessoal que expanda novos horizontes	Intenção
R3	Promover a produção de sabão ecológico no campus, considerando a sua localização em uma área muito comercial.	Intenção
R3	Alunos e professores levariam o conhecimento para suas comunidades, incentivando-as ao descarte consciente do óleo nas áreas domiciliares, de modo a não prejudicar as redes hidráulicas e o meio ambiente.	Intenção
R3	espera-se que a instituição ao promover uma ação sustentável tenha maior responsabilidade socioambiental e torne-se referência na formação de cidadãos mais conscientes quanto ao descarte de embalagens e resíduos	Intenção
R3	Espera-se também que o CEFET-RJ reduza consideravelmente os custos com a aquisição de produtos industrializados para limpeza e conservação.	Intenção
R4	Uma das vantagens é a diminuição da poluição ao redor do prédio por conta do processo de fotossíntese que a vegetação do telhado realiza	Intenção
R4	Com a utilização das técnicas acima, é de se esperar que se tenha menor impacto ambiental, e que os custos sejam reduzidos	Intenção
R5	e, por conseguinte, reduzindo os gases de efeito estufa	Intenção
R5	desenvolverão melhores habilidades, tanto em relação à dinâmica em grupo, quanto ao manuseio dos objetos e das práticas em eletrônica presentes no processo da remanufatura	Intenção
R5	Dessa forma, evitaríamos um gasto desnecessário por meio da instituição, que poderia ser realocado para algo que tenha uma melhor serventia no curso de eletrônica	Intenção
R6	Uma das principais grandes vantagens da energia solar é a economia em longo prazo. Queda de cerca de 50% no valor da conta de luz. Energia reserva no caso de falta de luz.	Intenção
R7	O projeto visa criar um ponto de coleta de resíduos eletrônicos	Intenção
R7	Esperamos que tenha uma menor extração de recursos minerais e uma maior preservação do ambiente, além de garantir uma fonte "inesgotável" de matérias-primas. Além de um menor gasto econômico	Intenção

Fonte: Dados da pesquisa.

A análise dos textos mostrou grande preocupação em relação aos impactos negativos causados ao meio ambiente e, por isso, as propostas indicaram o desejo de reverter ou impedir a ocorrência de fatores causadores de problemas ambientais, principalmente a geração de resíduos e o aumento da poluição.

Nesse sentido, os estudantes propuseram a difusão dos conceitos de QV, além de práticas e hábitos sustentáveis na escola e para além dela, como forma de iniciar um processo de transformação que leve os indivíduos a praticarem a responsabilidade socioambiental.

Dentro desse contexto, ressaltaram que o desenvolvimento desses projetos na escola pode promover a socialização entre os estudantes e incentivar uma vida mais saudável, além de contribuir para a sua formação técnica. Assim, destaca-se a relevância dessa percepção sobre a importância de se relacionar com o outro e poder compartilhar ideias que contribuam para o crescimento pessoal e profissional.

Ainda nessa categoria, a análise mostrou outros dois propósitos bastante relevantes no sentido de preservar o meio ambiente: o melhor aproveitamento dos recursos naturais e o desenvolvimento de novas tecnologias.

Sendo assim, percebeu-se que o *corpus* da segunda turma apresentou maior número de unidades de sentido para a categoria intenção, ou seja, os objetivos específicos de cada projeto surgiram entrelaçados com uma gama de outros propósitos pertinentes e relevantes espalhados ao longo dos textos.

Finalmente, a densidade dos textos fez com que emergissem da análise textual outras duas novas categorias: conhecimento científico e viabilidade, como mostra a Tabela 24.

Tabela 24 – Unidades de sentido e categorias do corpus da turma modo remoto.

R1	Essa coloração deve-se à composição desse pigmento	Conhecimento Científico
R1	Analisar essa morfologia da cadeia é importante para a seleção de qual solvente precisaremos utilizar no processo de extração.	Conhecimento Científico
R2	Para o circuito funcionar é necessário que um aluno exerça trabalho em forma de energia cinética ao pedalar na bicicleta que ficará conectada ao eixo de um alternador que gerará energia para uma bateria	Conhecimento Científico
R2	Com a utilização de polias e correias, se criarão um sistema de ampliação onde poucos ciclos pedalados gerarão uma alta rotação no eixo do alternador, fazendo com que a geração de energia não seja tão difícil	Conhecimento Científico
R2	Para que todos esses sistemas possam funcionar em sincronia se fará necessária a presença de alguns componentes, como um contador de geração de energia, um sistema de codificação	Conhecimento Científico
R3	A base quebra o triéster da gordura dando origem a dois produtos: o glicerol e o sabão.	Conhecimento Científico
R3	tomando o cuidado de usar todos os equipamentos de proteção e de não usar materiais de metal no processo, já que a soda corrói o metal	Conhecimento Científico

R5	As análises feitas sobre quais componentes ou peças devem ser restaurados ou trocados devem ser passadas para a próxima dupla, assim como a decisão tomada se os procedimentos de restauração ou troca são viáveis.	Conhecimento Científico
R6	O Painel solar gera uma energia variável, e para entregar uma energia estável é necessário um controlador de carga, após isso a bateria é adicionada e um inversor que varia de quanto seu sistema consome	Conhecimento Científico
R1	Em razão disso decidimos basear nosso projeto apenas em corantes naturais já testados para marcadores de quadro branco.	Viabilidade
R1	O Brasil é o segundo país que mais usa esse corante no planeta, isso promove um barateamento desse produto.	Viabilidade
R5	O projeto deve ser inscrito no Programa Institucional de Bolsas de Extensão. A mesma deve ser utilizada como recurso financeiro para realizar a compra de componentes ou peças.	Viabilidade
R6	Para um melhor aproveitamento do painel solar é recomendado que ele seja instalado em lugares abertos sem paredes em volta, onde não haja sombra, como no telhado em um bom ângulo	Viabilidade

Fonte: Dados da pesquisa.

- Conhecimento Científico

Os trabalhos apresentaram metodologias detalhadas para a execução das propostas, entretanto, para além do passo a passo, o conhecimento científico foi empregado para tomada de decisão acerca desses aspectos metodológicos.

A sugestão de produzir tinta de caneta para quadro branco a partir de corantes naturais, por exemplo, levou em consideração a composição química e a estabilidade dos componentes para a escolha da matriz vegetal mais adequada. Da mesma forma, essa análise foi indispensável para a identificação do solvente mais adequado a ser utilizado na extração.

A proposta de fabricar sabão para uso da própria escola também apresentou uma discussão sobre a reação química em questão e a periculosidade dos reagentes. A indicação dos EPIs necessários para a prevenção da integridade física pessoal foi pautada nas informações de segurança dos produtos químicos empregados.

Desta forma, as propostas que envolveram fundamentos da química apresentaram esses conteúdos articulados aos conceitos de QV.

Além disso, todos os trabalhos, com enfoque na área técnica de atuação dos estudantes, apresentaram embasamento técnico que justificou todas as decisões apontadas ao longo dos textos para a efetiva implementação dos projetos.

No caso da geração de energia a partir do trabalho mecânico realizado por pedaladas em uma bicicleta, todos os componentes integrantes do sistema foram descritos, bem como as características do seu funcionamento. Para a remanufatura dos osciloscópios, citaram a necessidade de conhecer as características técnicas para avaliar a possibilidade de restauração ou troca de componentes; enquanto para o uso do painel solar, mostraram ser preciso estabilizar a energia e controlar o consumo.

Faz-se necessário destacar que a análise textual mostrou ainda o esforço dos discentes em apresentar dados da literatura específica, indicando as referências bibliográficas que foram utilizadas para fundamentar as suas escolhas.

- Viabilidade

Alguns dos trabalhos elaborados por essa turma mostraram preocupação em apresentar informações que comprovassem a viabilidade de execução dos projetos e, para isso, novamente os estudantes se utilizaram de dados da literatura.

Um dos caminhos escolhidos para mostrar a exequibilidade foi optar pela implementação de projetos que já haviam sido testados e com informações sobre o seu custo. Nesse sentido, além de apresentarem dados sobre fontes de matérias-primas mais baratas, também incentivaram a busca por programas de financiamento.

O uso do conhecimento técnico também teve destaque nesta categoria, uma vez que foi empregado para descrever as condições ideais de realização do projeto.

6- CONSIDERAÇÕES FINAIS

A QV nasceu como uma resposta do setor industrial frente aos desafios de superar os impactos negativos causados ao meio ambiente. Dentro de um contexto de pressão social e perspectiva de interesses econômicos surgiu uma nova forma de pensar os processos produtivos, centrado na prevenção. Diante disso seus conceitos vêm sendo difundidos também nas áreas de ensino e pesquisa.

Inicialmente, com o intuito de qualificar profissionais em atuação, esse estudo foi introduzido em cursos de pós-graduação e, posteriormente, pensando na formação de futuros profissionais, sua disseminação vem alcançando também os cursos de graduação. Entretanto, pouco se encontra na literatura sobre a discussão desse assunto em instituições de educação básica.

Desta forma, considera-se urgente a inserção desses conceitos no ensino médio e técnico, pois se apenas os especialistas atuarem de modo preventivo em relação ao meio ambiente, provavelmente, mais difícil será a superação dos problemas existentes. Por outro lado, também pode despertar o interesse dos alunos para a escolha de profissões associadas ao tema.

A QV originalmente desenvolvida para incrementar processos e produtos, vem buscando ao longo do tempo alcançar um caráter transformador, que foi estimulado neste trabalho no sentido de “enfatizar a participação e a ação como partes especialmente importantes da educação científica” (SJÖSTRÖM e EILKS, 2018, p.67).

Assim, o desenvolvimento do curso de extensão sobre QV para alunos do ensino médio e técnico, aqui apresentado, oportunizou estudar sobre: os doze princípios da QV; economia circular; pegada ecológica; sustentabilidade; métricas verdes; uso de biomassa e avaliação do ciclo de vida, dentre outros. Levando-se em consideração que tais conteúdos fazem parte da dinâmica social imposta atualmente, destaca-se a relevância de ter promovido discussões sobre esses assuntos, uma vez que, todos os indivíduos participam desse processo enquanto atores sociais.

Acredita-se que o pressuposto de estudar ciência, tecnologia e sociedade de modo interrelacionado, entendendo as influências mútuas existentes entre os termos, estabeleceu um caminho para que os conteúdos científicos emergissem dentro de um contexto, iniciando um processo de superação do ensino meramente propedêutico.

Ao longo das aulas foi possível perceber que a escolha de estudar a partir de temas sociais permitiu que os alunos apresentassem seus conhecimentos prévios acerca dos assuntos e estabelecessem novas relações de pensamento, à medida em que os novos conteúdos eram apresentados, amadurecendo suas ideias, como mostram os depoimentos a seguir:

> *O curso é extremamente elucidativo, abordando temas importantíssimos para o atual desenvolvimento da sociedade, acredito que tenha feitos todos os seus participantes refletirem um pouco mais sobre seu modo de vida e sua relação com a natureza. Aluno X*
>
> *O curso é maravilhoso, os temas abordados são extremamente interessantes e muito atuais, estão muito inseridos no cotidiano, além de terem sido organizados de uma maneira muito coerente. Aluna Y*
>
> *Gostei bastante do curso, acho que são coisas relativamente simples mas que nem todos tem esse conhecimento, o curso me fez ver o mundo de outra forma, da importância que temos que dar a ele, de preservar, de buscar práticas que não gerem tantos impactos negativos, vimos também como algumas dessas práticas são feitas através da química. Aluna Z*

Foi possível perceber que o estudo de alguns processos de produção ampliou o entendimento dos estudantes sobre a influência das diversas variáveis que envolvem esses sistemas. A Química Clássica tem o foco mais direcionado para a questão econômica, enquanto a QV preocupa-se mais com as questões ambientais. Foi notável para eles, por exemplo, que o caminho mais verde nem sempre é o mais viável economicamente e isso torna frágil um dos pilares da sustentabilidade. Por isso, a importância de estudar os conceitos científicos, pois promove mais esclarecimento e tende a conduzir tomadas de decisão mais adequadas.

Além disso, dentro do atual contexto ambiental é importante repensar o ensino dos conteúdos científicos nas escolas, no sentido de promover uma transição para um presente e um futuro sustentáveis, como afirmam González García, Blanch e Tallada (2021).

Tendo isso em vista, destaca-se que o desenvolvimento do curso de extensão possibilitou verificar a viabilidade de articular os conteúdos de Química previstos no currículo escolar com os conteúdos de QV. Essa articulação se fez de maneira muito natural, indicando que não é preciso escolher entre um e outro e, mesmo em escolas que privilegiam o ensino dos conteúdos disciplinares, é possível fazê-lo a partir de uma

construção, superando o mito do conhecimento pronto e imutável. Foi possível constatar que ao perceberem possíveis aplicações para os conteúdos apresentados e o quanto estão presentes e impactam as suas vidas, os alunos valorizaram o tempo dedicado a esse estudo.

Dois depoimentos corroboram com essa reflexão:

> *Os conteúdos químicos no curso foram dados de uma maneira mais contextualizada. Para cada tema havia um conceito químico, como ligações intermoleculares, química orgânica... E isso foi muito esclarecedor, pois víamos esses conteúdos de uma forma mais prática. Aluna A*

> *Parece que nas aulas do curso os conteúdos se entrelaçavam muito mais uns com os outros. Em aulas do 2ª Módulo na mesma aula de reações da química orgânica tratamos de técnicas para fazer separações de misturas. Eu sentia que assim deu pra ter uma visão muito mais global da química e, ao mesmo tempo, usar o conhecimento químico a partir de uma perspectiva mais crítica e cidadã. Me lembro de ter saído duma aula de estequiometria fascinado por ser possível utilizar os cálculos de grau de rendimento para analisar o quão verde era um processo. Aluno B*

No entanto, é preciso apontar que esse processo não é trivial, visto que, os currículos são seriados e preveem uma ordenação de conteúdo. Logo, a elaboração do percurso demandou esforço, preparação da docente e, principalmente, tempo de pesquisa. Neste trabalho, o uso de temas sociais foi fundamental para estabelecer essa articulação, de modo que os conteúdos químicos foram emergindo conforme a discussão acerca dos assuntos se desenvolvia. Destaca-se que a elaboração do curso teve como facilitador a não necessidade de seguir os conteúdos de Química previstos na ordem das séries, pois foi oferecido como atividade de extensão.

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

De fato, é preciso contextualizar e problematizar os temas em questão para que os discentes se mantenham estimulados ao longo do processo, buscando questionar, pesquisar sobre suas dúvidas, compartilhar suas descobertas e suscitar discussões na turma. E isso foi perceptível nas aulas remotas, em que eles não tiveram contato físico

com a experimentação, mas apontaram como parte contribuinte para a compreensão dos conteúdos, reconhecendo-a como um espaço de aprendizagem e desenvolvimento.

> *No curso eu tive uma visão mais sustentável e prática, do que semente teoria. Aluna B*
>
> *Que existem vários temas interessantes em Química Verde que podem ser estudados, os experimentos me ajudaram a entender certos partes do conteúdo. Aluno C*
>
> *Além disso, quando era necessário compreender alguns conceitos químicos, eles eram explicados com muita clareza, proporcionando um ótimo entendimento e os vídeos de experimentos muito bem explicados também. Aluna Y*

Nesse sentido, certamente o uso da abordagem CTS, bem como, o estudo prévio acerca dos objetivos da experimentação em Química, possibilitaram a docente experienciar aulas em que os estudantes assimilaram o porquê de estudar Química. Pesquisar sobre as diferentes formas de abordar a experimentação, suas potencialidades e limitações e repensar as aulas experimentais para a realização durante o período da Pandemia da COVID-19 foram fatores fundamentais para superar a visão ingênua de que a parte prática do ensino de Química consiste em estar no laboratório e manipular materiais.

A experiência vivida pela docente mostrou que, em geral, essas aulas são desprovidas de significados e percebidas pelos alunos como eventos, contribuindo muito pouco para o processo de aprendizagem. Por outro lado, é inegável que a problematização das atividades experimentais não é tarefa trivial para o professor que, na sua formação, teve pouco contato com essa forma de pensar. Exige dedicação e estudo contínuo para que aconteça o aprender fazendo, ou seja, que a prática da sala de aula contribua efetivamente para a aprendizagem do docente.

Ainda nesse contexto, destaca-se o estudo das métricas verdes como forma de avaliar a verdura química dos experimentos. Ao mesmo tempo em que facilitou a abordagem dos doze princípios de QV, viabilizou o estudo de tópicos de segurança química, na medida em que os alunos foram convidados a pesquisar as FISPQs dos produtos e investigar possíveis perigos para a saúde e o ambiente.

No entanto, esse conteúdo do curso foi muito mais explorado na versão presencial. De modo contraditório, pensou-se ingenuamente que essa investigação não seria necessária na versão remota, uma vez que os estudantes não manipulariam os materiais. Por esse motivo, embora a aula de métricas tenha ocorrido como previsto, a discussão sobre segurança química ficou aquém do esperado. Além disso, acredita-se que incluir o estudo sobre a métrica da Estrela Verde teria ampliado o conhecimento e possibilitado um aprofundamento acerca das possibilidades de alcançar os critérios da sustentabilidade a partir da atuação da QV.

A despeito desse fato, todas as deficiências identificadas na primeira turma foram analisadas de modo a serem aprimoradas na turma seguinte. Porém, naturalmente, é possível apontar ainda algumas limitações a serem superadas, como: discutir sobre os resíduos gerados nos experimentos, inserir informações sobre segurança química nos vídeos e explorar melhor os resultados das investigações dos alunos sobre as práticas.

Nesse sentido, é importante destacar que para além da experimentação, existem outras possibilidades de abordagem de conceitos de QV, como exemplo, a ênfase na segurança química, buscando discutir aspectos físicos, ambientais e de saúde.

Em relação a avaliação de desempenho dos alunos, além da participação ativa nas discussões durante as aulas, os participantes da primeira turma tiveram a sua opinião, a respeito de QV, investigada a partir da construção de mapas mentais, no início e no final do curso, enquanto aqueles que integraram a versão remota, responderam um pré-teste e um pós-teste constituídos de um mesmo questionário.

A análise dos mapas mentais foi feita através da elaboração de nuvens de palavras, que mostraram, de modo esperado, um aumento do número de termos relacionados ao tema, indicando que este teve seu conhecimento ampliado pelos alunos. Enquanto a comparação das respostas dos questionários dos discentes da segunda turma não mostrou mudança de opinião relevante sobre QV, carecendo de uma etapa final de entrevista para que houvesse melhor compreensão sobre os seus pensamentos.

Por outro lado, os projetos finais propostos pelos alunos, de ambas as turmas, mostraram total pertinência com a temática do curso.

A leitura dos conteúdos escritos da turma presencial indicou dificuldade no processo de elaboração, com justificativas rasas e descrições metodológicas insuficientes. Entretanto, destaca-se o tempo excessivamente curto para que houvesse melhor

orientação a esse respeito. A segunda turma, por sua vez, apresentou textos mais bem elaborados, pois tiveram a oportunidade de realizar uma etapa anterior de pesquisa, entregue na forma de um resumo, que foi corrigido para que posteriormente construíssem o trabalho final. Um dos depoimentos apontou a importância da realização dos projetos:

> *Os trabalhos dos dois módulos foram muito importantes para colocar em prática os conhecimentos adquiridos com o curso, além de ampliarem o meu conhecimento na minha área técnica. Aluna Y*

Além disso, como forma de ampliar a avaliação, os textos dos projetos foram sendo examinados segundo os critérios da análise textual discursiva. Esta mostrou que os estudantes foram capazes de realizar pesquisas essenciais para a fundamentação de suas propostas, bem como buscaram relacionar conhecimentos técnicos com aqueles construídos ao longo do curso. Além disso, identificaram benefícios sociais consequentes da implementação desses projetos e apontaram aspectos fundamentais para analisar a viabilidade prática e econômica.

Sendo assim, ao retomar a pergunta de pesquisa “que contribuições o ensino de QV, com enfoque na experimentação e sob a perspectiva CTS, pode oferecer para a formação cidadã dos alunos do ensino médio e técnico?”, acredita-se que algumas respostas foram alcançadas.

Os estudantes tiveram a oportunidade de ampliar a concepção sobre práticas sustentáveis, percebendo a sua importância para a preservação do planeta. Além disso, expandiram seu entendimento acerca da responsabilidade enquanto cidadãos, na medida em que, compreenderam que suas atuações como alunos, consumidores ou futuros profissionais impactam o meio ambiente.

Ademais, constataram que os conteúdos químicos dialogam entre si e, desta forma, conseguiram estabelecer relações entre eles. Nesse sentido, foram capazes de aplicar o conhecimento científico de modo prático na área técnica ou em ações cotidianas, a partir da elaboração de projetos.

Nestes, a interrelação apresentada entre esses aspectos aponta para um entendimento dos estudantes sobre a importância desse diálogo na elaboração de propostas com caráter sustentável, sem esquecer a necessidade de respeitar os limites impostos por cada dimensão da sustentabilidade.

Nesse sentido, considera-se que a abordagem de ensino CTS foi fundamental para a construção e o progresso do processo de ensino e aprendizagem proposto. Além disso,

acredita-se que o estudo de conceitos de QV articulados aos conteúdos de Química no ensino médio contribuíram para jogar luz sobre a importância de os estudantes criarem responsabilidade social frente as questões que envolvem o meio ambiente, além de exercitarem a prática de tomar decisões a respeito de assuntos sociotécnicos, por meio da articulação dos conhecimentos científicos estudados.

O modelo de ensino presencial oferecido à primeira turma do curso seguiu o que é oferecido pela instituição nos cursos de ensino médio e técnico integrado. Essa opção contribuiu muito para o processo de interação social entre os alunos e com a pesquisadora.

A organização dos discentes em bancadas do laboratório estimulou a participação em grupo, o processo colaborativo para a realização dos experimentos, além de ressaltar a importância da segurança química e a sua influência sobre a condução adequada do experimento e a integridade física dos realizadores. Nesse sentido, destaca-se a oportunidade de perceberem que, apesar da existência de regras, normas e roteiros, a manipulação humana e a discussão sobre as etapas dos procedimentos e as respostas obtidas influenciam os resultados e, consequentemente, as próximas decisões, processo que pode contribuir para minimizar a crença positivista sobre ciência.

Por outro lado, o curso presencial exigiu mais tempo dos estudantes na escola, fator que pode ser um limitante para futuros interessados, pois diminui a sua disponibilidade para ajudar em possíveis tarefas domésticas, por exemplo, além de implicar em maior gasto com alimentação. Ao considerar a inscrição de alunos externos, é preciso levar em conta também o gasto e o tempo de deslocamento, fato que pode ter contribuído para a participação exclusiva de alunos da própria instituição na primeira turma. Ademais é preciso verificar também a disponibilidade e a capacidade do espaço do laboratório e dos insumos a serem utilizados.

Entretanto, ao analisar o modelo remoto oferecido à segunda turma, essas limitações tornaram-se pontos positivos. Apesar de ter sido uma opção para dar continuidade à pesquisa no período de pandemia da COVID-19, essa modalidade oportunizou a participação de um maior número de estudantes, tanto internos quanto externos, além de facilitar a negociação sobre o horário de aula que melhor atendesse aos participantes. Além disso, como a realização dos experimentos foi gravada, o uso de recursos e o consumo de produtos químicos foi menor.

Em relação aos desafios do ensino remoto destacam-se os problemas de ordem técnica, como o acesso à internet de qualidade e a posse de um dispositivo adequado para transmitir/assistir as aulas; a interação entre os estudantes durante as aulas foi muito pequena, excetuando-se o período de elaboração do projeto; a interação da turma com a professora também ficou comprometida, pois uma pequena parcela mostrou-se muito participativa, interagindo intensamente por áudio e mensagem, mas houve aqueles que se limitaram a assistir e entregar as atividades avaliativas.

Faz-se necessário ressaltar que a oportunidade de trabalhar remotamente também foi fundamental para a reflexão da prática docente da autora. Atender um maior número de estudantes interessados no curso foi muito motivador, porém, não olhar nos seus olhos (a maioria não ligou a câmera) foi extremamente angustiante; de certa forma, a separação física dificultou a percepção de que uma relação de confiança estava sendo construída. Por outro lado, ampliou o conhecimento acerca de tecnologias da informação e comunicação e metodologias de ensino diversas, que não foram objeto de estudo da pesquisa, mas foram oportunizadas nesse processo e sem dúvidas contribuíram para a prática docente.

Nesse sentido, destaca-se a necessidade de valorizar a formação continuada para que o docente não se perca em práticas ultrapassadas que não atendem às atuais demandas educacionais, visto que estas encontram-se em constante e cada vez mais rápido processo de transformação. No entanto, compreende-se que a carreira EBTT, na qual a autora da pesquisa atua, oportuniza esse processo, mas não corresponde à realidade de todos os professores. É sabido que muitos fatores, como a baixa remuneração, o alto volume de trabalho e as condições precárias de infraestrutura das escolas, desmotivam e muitas vezes impedem o professor de investir na sua formação.

Finalmente, é importante considerar a importância de realizar a transposição dessas aulas para as turmas regulares. Acredita-se que a organização dos conteúdos químicos no currículo é fundamental para o docente na preparação das aulas e articulação desses conteúdos com os conceitos de QV. Além disso, é essencial encontrar uma abordagem de ensino favorável e adequada, bem como disseminar entre os pares a necessidade de um ensino de química voltado para a compreensão de mundo.

Tendo isso em vista, espera-se que os resultados dessa pesquisa possam contribuir para a prática de outros docentes e que, ao longo do tempo, o ensino de Química seja cada vez mais pautado nos conceitos de QV.

7- ESTUDOS FUTUROS

Levando em consideração que a argumentação apresentada ao longo do texto não se encerra nessa pesquisa, seguem algumas propostas para estudo futuro, no sentido de atualizar e aprofundar as discussões continuamente.

1. Atualizar e expandir dos mapeamentos sobre ensino de QV; ensino CTS e experimentação química: são necessários pois indicam como as áreas de interesse têm sido investigadas, além de apontarem autores e instituições relevantes.

2. Aprofundar os estudos acerca da natureza das Ciências e as dimensões da sustentabilidade. A quem a sustentabilidade atende? Acredita-se que a melhor compreensão sobre essas questões pode contribuir para a consolidação de um posicionamento político que vem sendo construído ao longo da pesquisa, além de auxiliar na superação de falas ainda positivistas, bem como mitos a respeito da Ciência.

3. Pesquisar sobre a relação homem/natureza de modo a entender cada vez mais que limites essa relação traz para o desenvolvimento da QV.

4. Aperfeiçoar os vídeos dos experimentos, acrescentando informações sobre segurança química e o uso de EPI.

5. Introduzir discussão sobre o tratamento dos resíduos gerados nos experimentos propostos.

6. Abordar outros itens relevantes como: biotecnologia, tratamento de emissões atmosféricas e defensivos agrícolas.

REFERÊNCIAS

ACEVEDO DÍAZ, J. A. Cambiando la práctica docente em la enseñanza de las ciencias a través de CTS. Borrador, Huelva, v.13, p. 26-30, 1996.

ACEVEDO DÍAZ, J. A. Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS): un enfoque innovador para la enseñanza de las ciencias. **Revista de Educación de la Universidad de Granada**, n. 10, p. 269-275, 1997.

ACEVEDO DÍAZ, J. A. Reflexiones sobre las finalidades de la ensenanza de las ciências: educación científica para la ciudadanía. **Revista Eureka**, v.1, n.1, p. 3-15, 2004.

ACEVEDO DÍAZ, J.A.; VAZQUEZ, A.; MANASSERO, M. A. **El Movimiento Ciencia-Tecnología-Sociedad y la Enseñanza de las Ciencias.** Organización de Estados Iberoamericanos, 2001. Disponível em <https://www.researchgate.net/profile/Jose-Acevedo-Diaz/publication/260597708_El_movimiento_Ciencia_Tecnologia_y_Sociedad_y_la_ensenanza_de_las_ciencias/links/0f317531bb82ae1587000000/El-movimiento-Ciencia-Tecnologia-y-Sociedad-y-la-ensenanza-de-las-ciencias.pdf> Acesso em: 09 out 2021.

ACEVEDO ROMERO, P.; ACEVEDO DÍAZ, J.A. **Proyectos y materiales curriculares para la educación CTS: enfoques, estructuras, contenidos y ejemplos.** Organización de Estados Iberoamericanos, 2009. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/39152718_Proyectos_y_materiales_curriculares_para_la_educacion_CTS_enfoques_estructuras_contenidos_y_ejemplos> Acesso em: 09 out 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Resolução N° 45/2014.** Disponível em http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacaoanp/resol-anp/2014/agosto&item=ranp-45-2014. Acesso em: 26 jun. 2021.

AIKENHEAD, G. Educación Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS): una buena idea como quiera que se le llame. **Educación Química**, v.16, n.2, p.114-124, 2005.

AIKENHEAD, G. S. Research into STS Science education. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 9, n. 1, 2009.

ALMEIDA, Q.A.R.; SILVA, B.B.; SILVA, G.A.L.; GOMES, S.S.; GOMES, T.N.C. Química Verde nos cursos de licenciatura em Química do Brasil: mapeamento e importância na prática docente. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v.15, n.34, p. 178-187, 20190 DOI: 10.18542/amazrecm.v15i34.6971.

ALTAVA, B.; BURGUETE, M. I.; LUIS, S. V. Educación cooperativa en Química Verde: la experiência española. **Educación química**, v. 24, p. 132-138, 2013.

ALVES-MAZZOTTI, A. J. Usos e abusos dos estudos de caso. **Cadernos de Pesquisa**, v.36, n.129, p.637-651, 2006

AMBAT, I.; SRIVASTAVA, V.; SILLANPÄÄ, M. Recent advancement in biodiesel production methodologies using various feedstock: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.90, p.356-369, 2018. DOI: 10.1016/j.rser.2018.03.069

AMORIN, D.P.L. Bioplásticos: benefícios sustentáveis e ascensão da produção. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, v.9, n.1, p.98-112, 2019.

ANASTAS, P.T.; BREEN, J.J. Design for the environment and Green Chemistry: the heart and soul of industrial ecology. **Journal of Cleaner Production**, v.5, n.1-2, p.97-102, 1997. DOI: 10.1016/s0959-6526(97)00025-5

ANASTAS, P.T.; WARNER, J.C. **Green Chemistry:** theory and practice. Oxford University Press: Oxford, 1998.

ANASTAS, P.T.; ZIMMERMAN, J.B. The periodic table of the elements of green and sustainable chemistry. **Green Chemistry**, v.00, n.1-3, p.1-21, 2019. DOI: 10.1039/C9GC01293A

ANDRADE, G.T.P. Percursos históricos de ensinar ciências através de atividades investigativas. **Revista Ensaio**, v.13, n.1, p.121-138, 2011.

ANDRADE, R.S.; ZUIN, V.G. A experimentação na educação em química verde: uma análise de propostas didáticas desenvolvidas por licenciandos em química de uma IES federal paulista. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.21, p.1-22, 2021. DOI: 10.28976/1984-2686rbpec2021u13171338

ANTAR, M.; LYU, D.; NAZARI, M.; SHAH, A.; ZHOU, X.; SMITH, D.L. Biomass for a sustainable bioeconomy: an overview of world biomass production and utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.139, p.1-18, 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110691

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB M. L. V. S. Atividades experimentai no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, 2003.

ARAÚJO, R.A.M.; CORREIA, T.S.; CÂMARA, R.P.B. Influência da inovação ambiental na sustentabilidade corporativa em companhias latino-americanas. **Organizações & Sociedade**, v.29, n.101, p.303-328, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14040**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

AULER, D. Alfabetização científico-tecnológica: um novo "paradigma"? **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, v.5, n.1, p.68-83, 2003. DOI: 10.1590/1983-21172003050107

AULER, D. Articulação entre pressupostos do educador Paulo Freire e do movimento CTS: novos caminhos para a educação em ciências. **Contexto e Educação**, v.22, n.77, p.167-188, 2007. DOI: 10.21527/2179-1309.2007.77.167-188

AULER, D.; BAZZO, W. A. reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência & Educação**, Bauru, v.7, n.1, p.1-13, 2001. DOI:10.1590/S1516-73132001000100001

AULER, D., DELIZOICOV, D. Alfabetização científico-tecnológica para quê? **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v.3, n.2, p.122-134, 2001. DOI:10.1590/1983-21172001030203

BARBOSA, H.S. **Fermentação de mosto com alto teor de sacarose para a produção de bioetanol combustível por diferentes linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* usando alta densidade celular.** Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista. Araraquara, p.91, 2013.

BASSOLI, F. Atividades práticas e o ensino-aprendizagem de ciência(s): mito, tendências e distorções. **Ciência e Educação** (Bauru), v. 20, n.3, p.579-593, 2014. DOI: 10.1590/1516-73132014000300005

BAZZO, W. A.; LISINGEN, I. V. e PEREIRA, L. T. V. Introdução aos estudos CTS (Ciencia, Tecnología e Sociedade). **Cadernos de Ibero América.** OEI - Organização de Estados Iberoamericanos para a Educação, a Ciência e a Cultura. Espanha: Madrid, 2003.

BEATRIZ, A.; ARAÚJO, Y.J.K.; LIMA, D.P. Glicerol: um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. **Química Nova**, v.34, n.2, p. 306-319, 2011. DOI: 10.1590/S0100-40422011000200025

BEHRING, J.L.; LUCAS, M.; MACHADO, C.; BARCELLOS, I.O. Adaptação no método do peso da gota para determinação da tensão superficial: um método simplificado para a quantificação da CMC de surfactantes no ensino da química. **Química Nova**, v.27, n.3, p. 492-495, 2004. DOI: 10.1590/S0100-40422004000300021

BERLINCK, R.G.S.; BORGES, W.S.; SCOTTI, M.T.; VIEIRA, P.C. A química de produtos naturais do Brasil do século XXI. Química Nova, v.40, n.6, p.706-710, 2017. DOI: 10.21577/0100-4042.20170070

BIZZO, H.R.; HOVELL, A.M.C.; REZENDE, C.M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. Química Nova, v.32, n.3, p.588-594, 2009. DOI: 10.1590/S0100-40422009000300005

BOFF, L. Sustentabilidade e cuidado: um caminho a seguir. **leonardoboff.org**, 2011. Disponível em: <https://leonardoboff.org/2011/06/16/sustentabilidade-e-cuidado-um-caminho-a-seguir/>. Acesso em 31 out 2022.

BOFF, L. **Sustentabilidade: O que é – O que não é.** Petrópolis, RJ: Vozes, 2012.

BOLZAN, J.A.; GOMES, S.I.A.A.; SANDRI, M.C.M. Extração do paracetamol comprimidos: uma técnica verde para o ensino de química farmacêutica. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v.13. n.1, p.216-239, 2020.

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.19, n.3, p.291-313, 2002.

BORREDA, L.M.; VILCHES, A. Química Verde y Sostenibilidad em la educación en ciencias em secundaria. **Enseñanza de Las Ciencias**, v.34, n.2, p.25-42, 2016. DOI:10.5565/rev/ensciencias.1688

BORTOLETO, G.G; GRAGNANI, J.G.; SILVA, L.F.; PINTO, R.M. Projeto B20- "Piracicaba no caminho da sustentabilidade". **Bioenergia em Revista: Diálogos**, v.10, n.2, p123-143, 2020.

BOUZON, J.D.; BRANDÃO, J.B.; SANTOS, T.C.; CHRISPINO, A. O ensino de química no ensino CTS brasileiro: uma revisão bibliográfica de publicações em periódicos. **Química Nova na Escola**, v.40, n.3, p.214-225, 2018. DOI:10.21577/0104-8899.20160126

BRANDÃO, J.B.B; BOUZON, J.D.; SANTOS, T.C.; PEREIRA, V. CHRISPINO, A. Mapeamento de publicações sobre o ensino da química verde no Brasil a partir de redes sociais. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v.14, n.30, p. 59-76, 2018. DOI: 10.18542/amazrecm.v14i30.5338

BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, p. 27833, 23 dez. 1996. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Educação e Desporto, Conselho Nacional da Educação. Câmara de Educação Básica. Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Brasília: MEC, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio. Brasília: MEC, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC, 2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Resenha Energética Brasileira. Brasília: MME, 2020.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W. BOLLINGER, A. Cradle-to-cradle design: create healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. **Journal of Cleaner Production**, 15, 2007, p.1337-1348.

BRÜSEKE, Franz Josef. O problema do desenvolvimento sustentável. **Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável. São Paulo: Cortez**, 1995.

BURMEISTER, M.; RAUCH, F.; EILKS, I. Education for sustainable development (ESD) and chemistry education. **Chemistry Education Research and Practice**, v.13, p.59-68, 2012. DOI: 10.1039/c1rp90060a

BUSATO, N.V.; SILVEIRA, J.C., COSTA, A.O.S.; COSTA JUNIOR, E.F. Estratégias de modelagem da extração de óleos essenciais por hidrodestilação e destilação a vapor. **Ciência Rural**, v.44, n.9, p.1574-1582, 2014. DOI: 10.1590/0103-8478cr20121330

CACHAPUZ, A.; PAIXÃO, F.; LOPES, J.B.; GUERRA, C. Do estado da arte da pesquisa em educação em ciências: linhas de pesquisa e o caso "Ciência-Tecnologia-Sociedade". **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.1, n.1, p.27-49, 2008.

CARVALHO, T. A.; DIAS, K.M.P.; RUSSO, A.L.R.G.; BRAGA, E.S.O.; SANTOS, A.R.; SANTOS, T.C.; CHRISPINO, A. A contextualização no ensino CTS: uma análise das redes sociais. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v.14, n.1, p.238-260, 2021.

CGEE. **Química verde no Brasil: 2010-2030** - Ed. rev. e atual. - Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

COELHO, G.C. O papel pedagógico da extensão universitária. **Em Extensão**, v.13, n.2, p.11-24, 2014.

COELHO, J.C.; MARQUES, C.A. Contribuições freireanas para a contextualização no ensino de química. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v.9, n.1, p.59-75, 2007.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO – **Agenda 21**. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em < http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/c36a21.pdf>. Acesso em 14 jun. 2022.

CORBERA, E.; ESTRADA, M.; BROWN, K. How do regulated and voluntary carbono-offset schemes compare? **Journal of Integrative Environmental Sciences**, v.6, n.1, p.25-50, 2009. DOI: 10.1080/15693430802703958

CORRÊA, A.G.; ZUIN, V.G. **Química Verde: Fundamentos e Aplicações.** São Carlos: EduFScar, 2009.

CORRÊA, A.G.; ZUIN, V.G.; FERREIRA, V.F.; VAZQUEZ, P.G. Green Chemistry in Brazil. **Pure Appl. Chem.**, v.85, n.8, p.1643-1653, 2013.

COSTA, D. A.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Uma revisão da bibliografia sobre o ensino da Química Verde. **Boletim da Sociedade Química Portuguesa**, n. 109, p.47-51, 2008.

COSTA, M.J.S.; FONSÊCA, J.A.C. Avaliação da dureza de águas, proveniente de poços tubulares da cidade de São João do Rio do Peixe – PB, para uso como fonte alternativa. In: Simpósio Nordestino de Química, 2, 2016, Teresina. **Anais eletrônicos**... Teresina: UFPI, 2016. Disponível em: < http://www.abq.org.br/sinequi/2016/trabalhos/105/8662-22185.html> Acesso em: 20 jun. 2021

COUTO, A.B.; RAMOS, L.A.; CAVALHEIRO, E.T.G. Aplicação de pigmentos de flores no ensino de química. **Química Nova**, v.21, n.2, p.221-227, 1998. DOI: 10.1590/S0100-40421998000200020

CHRISPINO, A. **Introdução aos enfoques CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade) na educação e no ensino.** Madrid: OEI, 2017, Documentos de Trabajo de IBERCIENCIA V4. Disponível em http://aia-cts.web.ua.pt/?p=1502 acesso em 25 out 2022

CEFET. Apresentação. **Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca**, 2020. Disponível em < http://www.cefet-rj.br/index.php/apresentacao>. Acesso em 31 out. 2022.

CHRISPINO, A.; LIMA, L.S.; ALBUQUERQUE, M.B.; FREITAS, A.C.C.; SILVA, M.A.F.B. A área CTS no Brasil vista como rede social: onde aprendemos? **Ciência & Educação**, Bauru, v.19, n.2, p.455-479, 2013.

CUNHA, S.; SANTANA, L.L.B. Condensação de Knoevenagel de aldeídos aromáticos com o ácido de Meldrum em água: uma aula experimental de química orgânica verde. **Química Nova**, v.35, n.3, p.642-647, 2012.

CUTCLIFFE, S. H. **Ideas, máquinas y valores: los estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad**. Barcelona: Anthropos Editorial, 2003.

DAGNINO, R. Para quê ensinar CTS? **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v.10, n.3, p.156-183, 2014.

DÉCADA DAS NAÇÕES UNIDAS DA EDUCAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Ministério do Meio Ambiente**, SI. Disponível em < https://antigo.mma.gov.br/estruturas/educamb/_arquivos/20_11122008091012.pdf>. Acesso em 14 jun. 2022.

DEGANI, A.L.G.; CASS, Q.B.; VIEIRA, P.C. Cromatografia: um breve ensaio. **Química Nova na Escola**, n.7, p.21-25, 1998.

DEUS, R. M.; SAVIETTO, J. P.; OMETTO, A. R.; BATTISTELLE, R. A. G. Economia Circular ontem e hoje: uma análise bibliométrica. In: **INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION,** 6, 2017, São Paulo. Download... São Paulo: ACPN, 2017. Disponível em: < http://www.advancesincleanerproduction.net/sixth/files/sessoes/5B/2/deus_rm_et_al_academic.pdf>. Acesso em 08 out. 2021.

D'ESCOFFIER, L. N.; OLIVEIRA, C.C.G.F.; LIMA, L.F.; CHRISPINO, A. A avaliação educacional na produção científica vista por meio de análise de redes sociais. **Ensaio (Online)**, v.30, p.285-311, 2022.

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, 139f., 2016.

DIAS, E.S. Os (des)encontros internacionais sobre meio ambiente: da conferência de Estocolmo à Rio+20 – Expectativas e Contradições. **Caderno Prudentino de Geografia**, v.1, n.39, p.6-33, 2017.

DIONYSIO, R.B.; CHRISPINO, A.; CARVALHO, A.P.M.; MENEZES, R.F.A.; XAVIER, G.P.O. Representatividade de Paulo Freire no ensino CTS brasileiro: olhares por meio de redes sociais. **Góndola, Enseñanza, y Aprendizaje de las Ciências**, v.15, p.460-476, 2020.

DOMINGUES, J.J.; TOSCHI, N.S.; OLIVEIRA, J.F. A reforma do ensino médio: a nova formulação curricular e a realidade da escola pública. Educação & Sociedade, ano XXI, n. 70, p.63-79, 2000.

EPICOCO, M.; OLTRA, V.; SAINT JEAN, M. Knowledges dynamics and sources of eco-innovation: mapping the green chemistry community. **Technological Forecasting & Social Change**, v.81, p.388-402, 2014. DOI: 10.1016/j.techfore.2013.03.006

FABRI, E.G.; TERAMOTO, J.R.S. Urucum: fonte de corantes naturais. **Horticultura Brasileira**, v.33, n.1, 2015, s/p. DOI:10.1590/S0102-053620150000100023

FAGUNDES, T. S. F. **Desenvolvimento de uma sequência didática usando corantes alimentícios curcuminóidicos para o ensino de química orgânica experimental da UFF**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 69 f., 2014.

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

FERREIRA, H.H.J; AMARAL, C.L.C. Pesquisa em ensino de química experimental: mapeamento das teses e dissertações apresentadas no Brasil de 2002 a 2011. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v.8, n.1, p.20-35, 2015. DOI: 10.3895/rbect.v8n1.2112

FLOR, C.C. Possibilidades de um caso simulado CTS na discussão da poluição ambiental. **Ciência & Ensino**, v.1, n. especial, n.p., 2007.

FRANCHINI, J.C.; COSTA, J.M.; DEBIASI, H; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná.** Londrina: Embrapa Soja, 2011.

FRANCISCO JUNIOR, W.E.; FERREIRA, L.H.; HARTWIG, D.R. Experimentação problematizadora: fundamentos teóricos e práticos para a aplicação em salas de aula de ciências. **Química Nova na Escola**, n.30, p.34-41, 2008.

FREITAS, C. M.; PORTO, M.F.S.; MOREIRA, J.C.; PIVETTA, F.; MACHADO, J.M.H.; FREITAS, N.B.B; ARCURI, A.S. Segurança química, saúde e ambiente – perspectivas para a governança no contexto brasileiro. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.18, n.8, p.249-256, 2002. DOI:10.1590/S0102-311X2002000100025

FREITAS, D.; VILLANI, A.; ZUIN, V. G.; REIS, P.; OLIVEIRA, H. T. **A natureza dos argumentos na análise de temas controversos: estudo de caso na formação de pós-graduandos numa abordagem CTS.** In: III Colóquio LusoBrasileiro sobre Questões Curriculares, 2006, Braga - Portugal. Anais em CD-Rom: III Colóquio Luso-Brasileiro sobre Questões Curriculares, 2006.

GARCÍA PALACIOS, E.M.; GONZÁLEZ GALBARTE, J.C.; LÓPEZ CEREZO, J.A.; LUJÁN, J.L.; GORDILLO, M.M.; OSÓRIO, C.; VALDÉS, C. **Ciencia, Tecnología y Sociedad:** uma aproximación conceptual. Colección Cuadernos Iberoamérica.

Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI), 2001.

GARCIA, M.S.; VILPOUX, O.F.; CEREDA, M.P. Arranjos institucionais na comercialização de energia elétrica de biomassa de cana-de-açúcar na região centro-oeste do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.59, n.3, p.1-21, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.223028

GEORGESCU-ROEGEN, N. **O decrescimento: entropia, ecologia, economia.** Apresentação e organização: Jacques Grinevald, Ivo Rens; tradução: Maria José Perillo Isaac. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

GOES, L.F.; LEAL, S.H.; CORIO, P.; FERNANDEZ, C. Aspectos do conhecimento pedagógico do conteúdo de química verde em professores universitários de química. **Educación Química**, v.24, n.1, p.113-123, 2013.

GOMES, R.N.; LIMA, P.S.; KURIYAMA, S.N.; FIDALGO NETO, A.A. Desenvolvimento da química verde no cenário industrial brasileiro. **Revista Fitos**, Rio de Janeiro, edição especial, p.80-89, 2018.

GÓMEZ-SOTO, J.A.; SÁNCHEZ-TORO, O.J.; MATALLANA-PÉREZ, L.G. Residuos urbanos, agrícolas y pecuarios em el contexto de las biorrefinerías. **Revista Facultad de Ingeniería**, v.28, n.53, p.7-32, 2019. DOI:10.19053/01211129.v28.n53.2019.9705

GONÇALVES, F.P.; MARQUES, C.A. Contribuições pedagógicas e epistemológicas em textos de experimentação no ensino de química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.11, n.2, p.219-238, 2006.

GONÇALVES, F.P.; YUNES, S.F.; GUAITA, R.I.; MARQUES, C.A.; PIRES, T.C.M.; PINTO, J.R.M.; MACHADO, A.A.S.C. La dimensión ambiental de la experimentación en la enseñanza de a química: consideraciones sobre el uso de la métrica holística <<estrella verde>>. **Educación Química**, v.28, p. 99-106, 2017. DOI: 10.1016/j.eq.2016.11.005

GONÇALVES, R.P.N.; GOI, M.E.J. Experimentação no ensino de química na educação básica: uma revisão de literatura. **Revista Debates em Ensino de Química**, v.6, n.1, p.136-152, 2021.

GONZÁLEZ GARCÍA, P.J.; BLANCH, M. E.; TALLADA, A.M. Vinculación de contenidos escolares con la Química Verde: voces de maestrosde primaria y secundaria. In: XI CONGRESO INTERNACIONAL EM INVESTIGACIÓN EM DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS, 2021, Lisboa, Portugal. **Anais...** Lisboa: Portugal, 2021, p.1299-1302.

GONZALEZ, M.H.G.; ANDRADE, D.C.; A sustentabilidade ecológica do consumo em Minas Gerais: uma aplicação do método da pegada ecológica. **Nova Economia**, v.25, n.2, p.421-446, 2015. DOI: 10.1590/0103-6351/2214

GUIMARÃES, R.P.; FONTOURA, Y.R.S. Rio+20 ou Rio-20?: crônica de um fracasso anunciado. **Ambiente & Sociedade**, v.XV, n.3, p.19-39, 2012. DOI: 10.1590/S1414-753X2012000300003

GÜNAY, M.E.; TÜRKER, L.; TAPAN, N.A. Significant parameters and technological advancements in biodiesel production systems. **Fuel**, v.250, p.27-41, 2019. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.03.147

HABEL, H.; WACKERNAGEL, M.; WRBKA, T. Land use and sustainability indicators. An introduction. **Land Use Policy**, v.21, p.193-198, 2004. DOI: 10.1016/j.landusepol.2003.10.004

HAJJARI, M.; TABATABAEI, M.; AGHBASHLO, M.; GHANAVATI, H. A review on the prospects of sustainable biodiesel production: A global scenario with an emphasis on waste-oil biodiesel utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, n. January, p. 445–464, 2017. DOI: 10.1016/j.rser.2017.01.034

IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores). Relatório Anual 2020. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf> Acesso em 18 jun 2021.

IRIGARAY, H.A.R.; STOCKER, F. ESG: novo conceito para velhos problemas. **Caderno EBAPE.BR**, v.20, n.4, n.p., 2022.

JACOBI, P. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. **Cadernos de Pesquisa**, n.118, p.189-205, 2003.

KALAYCI, I.; UZUN, A. D.; ÖZKURT, H. Bioeconomy and/or Biotechnology: Limited Improvements in Turkey. In: **International Conference on Transformations and Innovations in Management (ICTIM 2017)**. Atlantis Press, 2017. Atlantis Press, 2017.

KRASILCHIK, M. Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências. **São Paulo em Perspectiva**, v.14, n.1, p. 85-93, 2000. DOI: 10.1590/S0102-88392000000100010

KUNDLASTCH, A.; AGOSTINI, G.; RODRIGUES, G.L. Conteúdos curriculares no ensino de química: analisando artigos da Química Nova na Escola sobre experimentação. **Educação Química en Punto de Vista**, v.2, n.1, p.102-124, 2018. DOI: 10.30705/eqpv.v2i1.1056

LACKNER, M. Bioplastics: biobased plastics as renewable and/or biodegradable alternatives to petroplastics. In: Standen, A. (Ed.). **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology** (Cap. 6). 6 Ed., 2015. DOI:10.1002/0471238961.koe00006

LEAL, A.L.; MARQUES, C.A. O conhecimento químico e a questão ambiental na formação docente. **Química Nova na Escola**, n.29, p.30-33, 2008.

LEITE, B.S. A experimentação no ensino de química: uma análise das abordagens nos livros didáticos. **Educación Química**, v.29, n.3, p.61-78, 2018. DOI: 10.22201/fq.18708404e.2018.3.63726

LEMOS, M.L.A.; SEIDL, P.R. GUIMARÃES, M.J.OC. Biocombustíveis no Brasil Potencial e oportunidades do diesel verde. **Caderno de Química Verde**, ano 6, edição especial, p.3-7, 2021.

LENARDÃO, E.J.; FREITAG, E.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. **Química Nova**, v.26, n.1, p.123-129, 2003. DOI: 10.1590/S0100-40422003000100020

LIMA, M.L.S.O.; ALMEIDA, R.K.S.; FONSECA, F.S.A.; GONÇALVES, C.C.S. A química dos saneantes em tempos de COVID-19: você sabe como isso funciona? **Química Nova**, v.43, n.5, p.668-678, 2020. DOI: 10.21577/0100-4042.20170552

LISBÔA, J.C.F. QNEsc e a seção experimentação no ensino de química. **Química Nova na Escola**, v.37, n.2, p.198-202, 2015. DOI: 10.5935/0104-8899.20150070

LÓPEZ CEREZO, J.A. Ciência, Tecnologia e Sociedade: a situação na Europa e nos Estados Unidos. **Ibero-American Journal of Education**, n.18, p.41-68, 1998. DOI:10.35362/rie1801091

LÓPEZ CEREZO, J. A. A. **Ciencia, Tecnologia y Sociedad: el estado de la cuéstion em Europa y Estados Unidos.** In: GORDILLO, M. M. et al.. (Orgs) Educácion, ciencia, tecnologia y sociedade. Madrid: Centro de altos estúdios universitários de la OEI (Organização dos Estados Ibero-americanos), p. 21-33, 2009.

LOZANO, D.L.P. **Conhecimento Didático do Conteúdo Ambientalizado na Formação Inicial do Professor de Química na Colômbia**. Tese (Doutorado em Educação Para A Ciência) – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO, Bauru, 610 f., 2019.

MACHADO, A. A. S. C. Química e Desenvolvimento Sustentável – QV, QUIVES, QUISUS. **Boletim da Sociedade Química Portuguesa**, n. 95, p.59-67, 2004.

MACHADO, A. A. S. C. Da génese ao ensino da Química Verde. **Química Nova**, v.34, n. 3, p.1250-1259, 2011. DOI: 10.1590/S0100-40422011000300029

MACHADO, A. A. S. C. Dos primeiros aos segundos doze princípios da química verde. **Química Nova**, v.35, n. 6, p.1250-1259, 2012. DOI:10.1590/S0100-40422012000600034

MACHADO, A. A. S. C. **Introdução às métricas da Química Verde**: uma visão sistêmica. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2014.

MAHAFFY, P.G.; KRIEF, A.; HOPF, H.; MEHTA, G.; MATLIN, S.A. Reorienting chemistry education through systems thinking. **Nature Reviews Chemistry**, v.2, n.0126, p.1-3, 2018

MANASSERO, M.A.M.; VÁZQUEZ, A.A. Instrumentos y métodos para la evaluación de las actitudes relacionadas com la ciência, la tecnología e la sociedade. **Enseñanza de las Ciencias**, v.20, n.1, p.15-27, 2002. DOI: 10.5565/rev/ensciencias.3977

MANASSERO, M.A.; VÁZQUEZ, A.; ACEVEDO, J.A. **Avaluació dels temes de ciència, tecnologia i societat.** Palma de Mallorca: Conselleria d'Educació i Cultura del Govern de les Illes Ballears, 2001. DOI: 10.13140/2.1.5072.9923

MANSILLA, D. S.; MUSCIA, G. C. e UGLIAROLO, E. A. Una fundamentación para la incorporación de la química verde em los currículos de química orgánica. **Educación Química**, v. 25, n. 1, p. 56-59, 2013.

MARCELINO, L. SJÖSTRÖM, J.; MARQUES, C.A. Socio-problematization of green chemistry: enriching systems thinking and social sustainability by education. **Sustainability**, v.11, n.7123, p.1-16, 2019. DOI: 10.3390/su11247123

MARCELINO, L.V.; PINTO, A.L.; MARQUES, C.A. Scientific disciplines in Green Chemistry. **Iberoamerican Journal of Science Measurement and Communication**, v.1, n.1, 2020. DOI: 10.47909/ijsmc.06

MARQUES, C.A. Estilos de pensamento de professores italianos sobre a química verde na educação química escolar. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v.11, n. 2, p. 316-340, 2012.

MARQUES, C.A.; MACHADO, A.A.S.C. Environmental sustainability: implications and limitations to green chemistry. **Foundations of Chemistry**, v.15, n.1, p.125-147, 2013. DOI: 10.1007/s10698-013-9189-x

MARQUES, C.A.; MACHADO, A.A.S.C Una visión sobre propuestas de enseñanza de la química verde. **Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias**, v. 17, n.1, p.19-43, 2018.

MARQUES, C.A.; MACHADO, A.A.S.C An integrated vision of the green chemistry evolution along 25 years. **Foundations of Chemistry**, v.23, p.299-328, 2021. DOI: 10.1007/s10698-021-09396-6

MARQUES, C.A.; GONÇALVES, F.P.; YUNES, S.F.; MACHADO, A.A.S.C. Sustentabilidade ambiental: um estudo com pesquisadores químicos no Brasil. **Química Nova**, v.136 n. 6, p. 914-920, 2013.

MARQUES, C.A.; GONÇALVES, F.P.; YUNES, S.F.; MACHADO, A.A.S.C. Sustentabilidade ambiental: um estudo com pesquisadores químicos no Brasil. **Química Nova**, v.36, n.6, p.914-920, 2013.

MARQUES, C.A.; MARCELINO, L.V.; DIAS, E.D.S; RUNTZEL, P.L.; SOUZA, L.C.A.B.; MACHADO, A. Green chemistry teaching for sustainability in papers published by the journal of chemical education. **Química Nova**, v.43, n.10, p.1510-1521, 2020. DOI: 10.21577/0100-4042.20170612

MELO, T.B. **CTS na Íbero-América e ensino CTS no Brasil: convergências e divergências numa análise da produção científica.** Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro, 206 f., 2017.

MELO, T.B.; AQUINO, D.F.; DIONYSIO, L.G.M.; LIMA, N.L.A.; VIDAL, C.S.; CHRISPINO, A. Um olhar sobre controvérsias nas publicações nacionais de ensino cts pela análise de redes sociais. **Alexandria**, v.14, p.357-381, 2021.

MELO, T. B.; PONTES, F. C. D. C.; ALBUQUERQUE, M. B.; SILVA, M. A. F. B.; CHRISPINO, A. Os temas de pesquisa que orbitam o enfoque CTS: uma análise de rede sobre a produção acadêmica brasileira em Ensino. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 16, n. 3, p.587-606, 2016.

MELLO, L.F.; HOGAN, D.J. População, consumo e meio ambiente. In: HOGAN, D.J. (org.) **Dinâmica populacional e mudança ambiental: cenários para o desenvolvimento brasileiro.** Campinas: Núcleo de Estudos de População-Nepo/Unicamp, 2007. 240p. Parte I, p.59-72.

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

MERRIAN, S.B. **Qualitative research. A guide to design and implementation.** San Francisco: Jossey-Bass, 2009.

MESTRES, R. Química Sostenible: Naturaleza, fines y ámbito. **Educación química**, v. 24, p. 103-112, 2013.

MIRANDA, M.M. **Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da avaliação do ciclo de vida.** Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 164f., 2012.

MOAZENI, F.; CHEN, Y.; ZHANG, G. Enzymatic transesterification for biodiesel production from used cooking oil, a review. **Journal of Cleaner Production**, v.216, p.117-128, 2019. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.01.181

MORAES, R. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência e Educação**, v.9, n.2, p.191-211, 2003.

MORI, R.C.; CURVELE, A.A.S. A polissemia da palavra "experimentação" e a educação em ciências. **Química Nova na Escola**, v.39, n.3, p.291-304, 2017. DOI: 10.21577/0104-8899.20160087

MOTA, C.J.A.; SILVA, C.X.A.; GONÇALVES, V.L.C. Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel. **Química Nova**, v.32, n.3, p.639-648, 2009.

MUENCHEN, C. DELIZOICOV, D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro "Física". **Ciência e Educação**, v.20, n.3, p.317-638, 2014.

MUNDIM, J.V., SANTOS, W.L.P. Ensino de ciências no ensino fundamental por meio de temas sociocientíficos: análise de uma prática pedagógica com vista à superação do ensino disciplinar. **Ciência e Educação**, v.18, n.4, p. 787-802, 2012. DOI: 10.1590/S1516-73132012000400004

NASCIMENTO, E. P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos Avançados**, v.26, n.74, p.51-64, 2012.

NOBREGA, C.C.; CARVALHO, M.; GARCIA, H.R.M.; FORÉS, V.I.; BOVEA, M.D. Avaliação do ciclo de vida da coleta seletiva de papel e papelão no núcleo do Bessa, município de João Pessoa (PB), Brasil. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.24, n.5, p.875-886, 2019. DOI:10.1590/S1413-41522019197802

NOVAIS, R.M. Experimentação no ensino de química: analisando reflexões de licenciandos durante uma disciplina de prática de ensino. **Educação Química en Punto de Vista**, v.2, n.2, p.24-50, 2018.

OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scentiae**, v.12, n.1, p.139-153, 2010.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Our Common Future**, 1987. Disponível em: <https://ambiente.files.wordpress.com/2011/03/brundtland-report-our-common-future.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2021.

PAN, C. A. Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos – GHS: Uma Ferramenta na Gestão da Segurança Química. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 7, n. 7, p. 21-33, 2012. DOI:10.17921/1890-1793.2012v7n7p21-33

PENNA, A.C.G.; DURÇO, B.B.; MÁRSICO, E.T.; SILVA, A.C.O.; ESMERINO, E.A. Aplicabilidade de corantes naturais como alternativas ao uso de aditivos sintéticos em produtos lácteos. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v.2, n.2, 2021, p.13-33. Disponível em: https://revistascientificas.ifrj.edu.br/revista/index.php/alimentos/article/view/1839

PEREIRA, D.A.; MACRI, R.C.V.; GIMENEZ, A.Z. Fatores que afetam a fermentação alcoólica. **Revista Ciência & Tecnologia**, v.12, n.1, p.44-55, 2020.

PINHEIRO, N.A.M.; MATOS, E.A.S.A; BAZO, W.A. Refletindo acerca da ciência, tecnologia e sociedade: enfocando o ensino médio. **Revista Iberoamericana de Educación**, n.44, p.147-165, 2007.

PINTO, A.C.; ZUCCO, C.; ANDRADE, J.B.; VIEIRA, P.C. Recursos humanos para novos cenários. **Química Nova**, v.32, n.3, p.567-570, 2009. DOI: 10.1590/S0100-40422009000300002

POTT, C.M.; ESTRELA, C.C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estudos Avançados**, v.31, n.89, p.271-283, 2017. DOI: 10.1590/s0103-40142017.31890021

PRADO, A. C.S. Química verde, os desafios da química no novo milênio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 26, n. 5, p. 738-744, 2003. DOI: 10.1590/S0100-40422003000500018

RIBEIRO, M. G. T. C.; COSTA, D.A.; MACHADO, A. A. S. C. Uma métrica gráfica para avaliação holística da verdura de reacções laboratoriais –"Estrela Verde". **Química Nova**, v. 33, n, 3, p. 759-764, 2010.

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

RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Holistic Metrics for assessment of the greenness of chemical reactions in the context of chemical education. **Journal of Chemical Education**, v.90, p.432-439, 2013. DOI: 10.1021/ed300232w

RIBEIRO, M.G.T.C.; YUNES, S.F.; MACHADO, A.A.S.C. Assessing the greenness of chemical reactions in the laboratory using updated holistic graphic metrics based on the globally harmonized system of classification and labeling of chemicals. **Journal of Chemical Education**, v.91, p.1901-1908, 2014. DOI: 10.1021/ed400421b

RIBEIRO, M.R.F.; PONTES, V.M.A.; SILVA, E.A. A contribuição da extensão universitária na formação acadêmica: desafios e perspectivas. **Revista Conexão**, v.13, n.1, p.52-65, 2017. DOI: 10.5212/Rev.Conexao.v.13.i1.0004

RICARDO, J.C.; CRISPINO, A. O mapeamento da área CTS a partir das dissertações dos mestrados profissionais: uma abordagem por análise de redes sociais entre os anos de 2005 a 2019. **Revista Ciências & Ideias**, v.12, p.173-193, 2021.

RIVAS, B.; TORRADO, A.; TORRE, P.; CONVERTI, A.; DOMÍNGUEZ, J.M. Submerged citric acid fermentation on Orange peel autohydrolysate. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.56, p. 2380-2387, 2008. DOI: 10.1021/jf073388r

ROHAN, U; BRANCO, R. R; SOARES, C. A. P. Potencialidades e limitações dos instrumentos de mensuração da sustentabilidade. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, c. 23, n. 5, p. 857-869, 2018. DOI: 10.1590/S1413-41522018170117

ROLOFF, F. B. e MARQUES, C. A. Questões Ambientais na voz dos formadores de professores de Química em Disciplinas de cunho ambiental. **Química Nova**, v. 37, n. 3, p. 549-555, 2014.

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

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, 346 f., 2016.

ROMA, J.C. Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transição para os objetivos de desenvolvimento sustentável. **Ciência e Cultura**, v.71, n.1, p.33-39, 2019. DOI: 10.21800/2317-6660201900010001

ROSA, S.E.; STRIEDER, R.B. Educação CTS e a não neutralidade da ciência-tecnologia: um olhar para práticas educativas centradas na questão energética. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v.11, n.3, p.98-123, 2018. DOI: 10.3895/rbect.v11n3.7292

RUIZ, A.A.; GIRALDO, L.F.G. Remoción del colorante azoico amaranto de soluciones acuosas mediante electrocoagulación. **Revista Lassalista de Investigación**, v.6, n.2, 2009, p.31-38. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-44492009000200005&script=sci_arttext

RUIZ, A.G.; VIZCAINO, S.C; DENNET, E.M.; VÁZQUEZ, M.R.S; MOTA, R.S.; MIQUEL, H.T. **33 prácticas de química para el bachillerato tecnológico**. México: Cosnet, 1991.

SÁNCHEZ, L.E.; CROAL, P. Environmental impact assessment, from Rio-92 to Rio+20 and beyond. **Ambiente & Sociedade**, v. XV, n.3, p.41-54, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000300004

SÁNCHEZ, J. I. P.; GONZÁLEZ, G. C. Transição da América Latina para a bioeconomia. Uma comparação com países da OCDE, União Européia e BRICS. **Econ: teórico. prático [online]**, n.53, p.45-69, 2020. DOI: 10.24275/etypuam/ne/532020/ponce

SANDRI, M. C. M. **Contribuições da inserção do enfoque CTSA e da Química Verde na Formação de Licenciandos em Química**. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência e a Matemática) – UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ, Maringá, 356f., 2016.

SANDRI, M.C.M.; MARQUES, C.A. O ensino da química verde: possíveis abordagens. In: **Encontro do Centro-Oeste de Debates sobre o Ensino da Química**, 18., 2021, Mato Grosso. Anais... Mato Grosso: Universidade Federal do Mato Grosso, 2021.

SANDRI, M.C.M.; SANTIN FILHO, O. Implicações da inserção da química verde na formação inicial de professores de química. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, v.11, n.1, p.111-124, 2016.

SANDRI, M.C.M.; SANTIN FILHO, O.. Análise da verdura química de experimentos propostos para o ensino médio. **Actio: Docência em Ciências**, v.2, n.2, p.97-118, 2017.

SANDRI, M.C.M.; SANTIN FILHO, O.. Os modelos de abordagem da química verde no ensino de química. **Educación Química**, v.30, n.4, p.34-46, 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. **Química Nova na Escola**, v.43, n.4, p.411-417, 2021. DOI: 10.21577/0104-8899.20160260

SANTOS, L.R.; MENEZES, J.A. A experimentação no ensino de química: principais abordagens, problemas e desafios. **Revista Eletrônica Pesquiseduca**, v.12, n.26, p.180-207, 2020.

SANTOS, M.J. **Tirando a Natureza do Anonimato na Revista Química Nova na Escola**. Tese (Doutorado em Ensino e História de Ciências da Terra) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 290 f., 2015.

SANTOS, W.L.P. Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. **Ciência & Ensino**, v.1, n. especial, n.p., 2007.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio Pesquisa em educação em ciências**, v.2, n.2, 2002.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Abordagem de aspectos sociocientíficos em aulas de ciências: possibilidades e limitações. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.14, n.2, p.191-218, 2009.

SANTOS, W. L. P. e SCHNETZLER, R. P. **Educação em Química: Compromisso com a Cidadania.** Ed. Unijuí, 2008.

SEHNEM S; PEREIRA, S.C.F. Rumo à economia circular: sinergia existente entre as definições conceituais correlatas e apropriação para a literatura brasileira. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa**, v.18, n.1, p. 35-62, 2019.

SERRANO, M. C. D. e RUVALCABA, R. M. Química verde: Un tema de presente y futuro para la educación de la química. **Educación Química**, v. 24, 2013.

SHAHID, E. M; JAMAL, Y. Production of biodiesel: a technical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.15, n.9, p.4732-4745, 2011. DOI: 10.1016/j.rser.2011.07.079

SHELDON, R.A. The *E* factor 25 years on: the rise of green chemistry and sustainability. **Green Chemistry**, v.18, n.18, p.18-43, 2017. DOI: 10.1039/c6gc02157c

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. X, n. 2, p.137-148, 2007. DOI: 10.1590/S1414-753X2007000200009

SILVA, A.K.M. **Abordagem De Temas CTS Em Uma Escola Particular: Análise De Uma Experiência Vivenciada.** Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino De Ciências). Universidade de Brasília, Brasília, 158 f., 2013.

SILVA, F. F. M.; MOURA, L. F.; BARBOSA, P. T.; FERNANDES, A. B. D.; BERTINI, L. M.; ALVES, L. A. Análise da composição química do óleo essencial de capim santo (cymbopogon citratus) obtido através de extrator por arraste com vapor d´água construído com materias de fácil aquisição e baixo custo. **HOLOS**, v. 4, 2014, p. 144-152. Disponível em: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481547173016

SILVA, M.L.T; BRINQUES, G.B.; GURAK, P.D. Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos de amido de milho contendo farinha de subproduto de broto. **Brazilian Journal of Food Thecnology**, v.33, p.1-13, 2020. DOI: 10.1590/1981-6723.32618

SILVA, P.B.C. **Ciência, Tecnologia e Sociedade na América Latina nas décadas de 60 e 70: análise de obras do período.** Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 133 f., 2015.

SILVA, R.R.; BOCCHI, N.; ROCHA FILHO, R.C. **Introdução à Química Experimental**. São Paulo: McGraw-Hill, 1990.

SILVA, R.T.; CURSINO, A.C.T.; AIRES, J.A.; GUIMARÃES, O.M. Contextualização e experimentação: uma análise dos artigos publicados na seção "Experimentação no Ensino de Química" da Revista Química Nova na Escola 2000-2008. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v.11, n.2, p.277-298, 2009. DOI: 10.1590/1983-21172009110206

SJÖSTRÖM, J.; EILKS, I. **Reconsidering Different Visions of Scientific Literacy and Science Education Based on the Concept of Bildung.** In: DORI, Y.J.; MEVARECH, Z.R.; BAKER, D.R. (eds) Cognition, Metacognition, and Culture in STEM Education. Innovations in Science Education and Technology, vol 24. (p.65-88). Springer, Cham., 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-66659-4_4

SIMÃO, L.; HOTZA, D.; RAUPP-PEREIRA, F.; LABRINCHA, J.A.; MONTEDO, O.R.K. Wastes from pulp and paper mills – a review of Generation and recycling alternatives. **Cerâmica**, v.64, p.443-453, 2018. DOI: 10.1590/0366-69132018643712414

SOUZA, B. V. **A sustentabilidade ambiental no ensino de química na compreensão de professores do ensino médio**. Dissertação (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica) – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Florianópolis, 169 f., 2013.

SOUZA-AGUIAR, E.F.; ALMEIDA, J.M.A.R.; ROMANA, P.N.; FERNANDES, R.P.; CARVALHO, Y. Química Verde: a evolução de um conceito. **Química Nova**, v.37, n. 7, p.1257-1261, 2014. DOI:10.5935/0100-4042.20140212

SOUZA, R.F.; CABRAL, P.F.O.; QUEIROZ, S.L. Mapeamento da pesquisa no campo da experimentação no ensino de química no Brasil. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.12, n.2, p.93-119, 2019.

STAKE, R. B. **A arte da investigação com estudos de caso.** 2ª edição. Tradução: Ana Maria Chaves. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2009.

STRIEDER, R.B.; KAWAMURA, M.R.D. Educação CTS: parâmetros e propósitos brasileiros. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v.10, n.1, p.27-56, 2017.

SUAREZ, P.A.Z.; SANTOS, A.L.F.; RODRIGUES, J.P.; ALVES, M.B. Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. **Química Nova**, v.32, n.3, p.768-775, 2009. DOI: 10.1590/S0100-40422009000300020

SUMMERTON, L.; HUNT, A. J. e CLARK, J. H. Green chemistry for postgraduates. **Educación Química**, v. 24, p. 150-155, 2013.

VIEIRA, K.R.C.F; BAZZO, W.A. Discussões acerca do aquecimento global: uma proposta CTS para abordar esse tema controverso em sala de aula. **Ciência & Ensino**, v.1, n. especial, n.p., 2007.

YAZAN, B. Três abordagens do método de estudo de caso em educação: Yin, Merriam e Stake. **Meta: Avaliação**, Rio de Janeiro, v.8, n.22, p.149-182, 2016.

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. **Revista Virtual de Química**, v.6, n.1, p.73-84, 2014. DOI: 10.5935/1984-6835.20140007

ZAGO NETO, O. G.; PINO, J. C. D. **Trabalhando a química dos sabões e detergentes.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. Disponível em: http://www.quimica.seed.pr.gov.br/arquivos/File/AIQ_2011/saboes_ufrgs.pdf. Acesso em 26 jun 2021.

ZÔMPERO, A.F.; LABURÚ, C.E. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Revista Ensaio**, v.13, n.3, p.67-80, 2011.

ZUIN, V.G. A inserção da Química Verde nos programas de pós-graduação em Química do Brasil: tendências e perspectivas. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, v.10, n.21, p.557-573, 2013. DOI: 10.21713/2358-2332.2013.v10.425

ZUIN, V.G.; EILKS, I.; ELSCHAMI, M.; KUMMERER, K. Education in green chemistry and in sustainable chemistry: perspectives towards sustainability. **Green Chemistry**, v.23, p.1594-1608, 2021.

ZUIN, V.G.; MARQUES, C.A. **Green chemistry education in Brazil: Contemporary tendencies and reflections at secondary school level.** In: ZUIN, V.G.; MAMMINO, L. (Eds.), Worldwide trends in green chemistry education (p. 27–44). Cambridge: RSC, 2015. DOI: 10.1039/9781782621942-00027

APÊNDICES

Apêndice 1 - Ementa da primeira versão do curso de extensão

OBJETIVOS

Este curso tem por objetivo estudar sobre os conceitos da Química Verde a partir da experimentação química.

EMENTA

Desenvolvimento Sustentável. Definição de Química Verde. Experimentos Químicos. Segurança Química. Produtos naturais. Recursos renováveis. Biomassa. Biocombustíveis. Economia Circular. Os doze princípios. Métricas em Química Verde.

PÚBLICO-ALVO: estudantes do ensino médio e técnico.

CONTEÚDOS

1) Introdução

- Desenvolvimento Sustentável
- Definições de Química Verde
- Processos de produção industrial: exemplo de produção do etanol

2) Experimentos Químicos

2.1) Óleos Essenciais

Abordagem: indústria de suco de laranja (processos químicos, impactos socioeconômicos e ambientais); aproveitamento integral de matéria-prima; biomassa; segurança química.

Experimentos: extração por solvente do óleo essencial da casca da laranja.

Conteúdos Químicos: solubilidade; ligações químicas; polaridade da molécula e funções orgânicas (álcool).

2.2) Corantes Naturais

Abordagem: características dos corantes naturais e dos corantes sintéticos; segurança química.

Experimentos: extração por solvente do corante natural de urucum.

Conteúdos Químicos: solubilidade; funções orgânicas (ácido carboxílico e éster) e classificação de cadeia carbônica.

2.3) Biodiesel

Abordagem: produção nacional de biodiesel; impactos socioeconômicos; impactos ambientais; economia circular; biomassa; recursos renováveis e segurança química.

Experimentos: transesterificação de óleo residual de fritura via catálise homogênea básica.

Conteúdos Químicos: funções orgânicas (álcool, ácido carboxílico, éster), composição de óleos vegetais; reação de transesterificação; catálise homogênea básica; solubilidade e fatores que influenciam o rendimento de uma reação.

2.4) Sabão

Abordagem: aproveitamento de coprodutos; economia circular e segurança química.

Experimentos: saponificação com óleo residual de fritura.

Conteúdos Químicos: funções orgânicas (sal orgânico); reação de saponificação; polaridade da molécula e atuação do sabão.

3) Métricas em Química Verde

- Grau de esverdeamento ou verdura química;

- Os doze princípios da Química Verde;

- Métricas Holísticas (Matriz Verde);

- Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ);

- Segurança Química.

Apêndice 2 - Experimentos Químicos – aulas presenciais

- **Experimento 1 –** Extração de óleo essencial[25]

Substâncias e Materiais: casca de laranja, cravo-da-índia, etanol e água.

Equipamentos e Vidrarias: Erlenmeyer (250 mL), proveta (50 mL), placa de aquecimento, espátula, funil de vidro, papel de filtro, suporte e argola, frasco coletor.

Procedimento 1: Transferir a casca de uma laranja para um erlenmeyer de 250 mL e adicionar 50 mL de etanol. Deixar em repouso por 4 dias e filtrar. Repetir o procedimento com cravo-da-índia.

Procedimento 2: Transferir a casca de uma laranja para um erlenmeyer de 250 mL e adicionar 50 mL de água. Deixar em repouso por 4 dias e filtrar. Repetir o procedimento com cravo-da-índia.

Discussão: Compare os resultados das extrações. Explique as diferenças observadas no uso dos solventes.

- **Experimento 2 –** Extração de corante natural[26]

Substâncias e Materiais: urucum e etanol.

Equipamentos e Vidrarias: erlenmeyer (125 mL), béquer (100 mL), proveta (50 mL), espátula, funil de vidro, papel de filtro, suporte e argola, frasco coletor.

Procedimento: Adicionar um punhado da matriz vegetal em um erlenmeyer de 125 mL e, em seguida, adicionar 50 mL de etanol. A mistura deve ser agitada e posta em repouso por 3 dias para a extração do corante. A seguir, filtrar a mistura com papel de filtro e guardar em fraco coletor.

Discussão: Pesquise quais são as substâncias responsáveis pela coloração dessa espécie.

- **Experimento 3 –** Transesterificação de óleo residual[27]

---

[25] Adaptado do material suplementar de 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 verdura dos processos de extração tradicionais. **Química Nova**, v.41, n.3, p.355-365, 2018. Disponível em <https://www.scielo.br/pdf/qn/v41n3/0100-4042-qn-41-03-0355-suppl1.pdf> Acesso em: 28 mar 2021.

[26] Adaptado de DIAS, M. V.; GUIMARÃES, P.I.C.; MERÇON, F. Corantes Naturais: extração e emprego como indicadores de pH. **Química Nova na Escola**, v. 12, p. 27-31, 2003.

[27] GOMES, S. M. S. **Utilização dos conceitos da química verde na otimização das aulas práticas de química orgânica.** 67f. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Instituto Federal do Rio de Janeiro, Caxias, 2017.

Substâncias e Materiais: óleo residual de fritura, etanol, $CaCl_2$ anidro, HCl e KOH

Equipamentos e Vidrarias: balão de fundo redondo (50 mL), béquer (50 mL), proveta (25 mL), proveta (10 mL), bastão de vidro, pipeta graduada (1 mL) e pipetador, funil de separação, argola, balança, suporte e garras, agitador magnético, espátula, tubo de ensaio e frascos de armazenamento.

Procedimento: Pesar, num balão de 50 mL, 16g de óleo residual. Pesar 0,24g (1,5% em peso do óleo) de KOH num béquer de 50mL. Dissolver o KOH em 17 mL de etanol. Adicionar ao balão, sob agitação magnética, a solução de hidróxido de potássio em etanol. Deixar a mistura sob agitação por 30 minutos. Transferir a mistura para um funil de separação e deixar o mesmo em repouso por 1 hora. Recolher a fase mais densa em um frasco. Adicionar 0,2 mL de HCl concentrado e lavar 3 vezes com 10 mL de água destilada, rotacionando o funil de decantação; não pode agitar vigorosamente. Transferir a fase orgânica para um tubo de ensaio e adicionar $CaCl_2$ anidro. Verter a fase orgânica, biodiesel, num frasco de armazenamento, previamente pesado.

Discussão: Pesquise e identifique quais são os componentes de cada fase.

- **Experimento 4 –** Saponificação de óleo residual[28]

Substâncias e Materiais: óleo residual de fritura, NaOH, água destilada e glicerina.

Equipamentos e Vidrarias: béqueres de plástico (250 mL), proveta (10 mL), bastão de madeira, balança e forma de silicone.

Procedimento: Pesar 20g de óleo residual de fritura em um béquer de plástico e reservar. Pesar 3,66g de NaOH em um béquer de plástico e adicionar aos poucos 10 mL de água sob agitação constante com o bastão de madeira. CUIDADO COM O CALOR E VAPOR LIBERADO NA DISSOLUÇÃO! Verter, aos poucos, a solução de NaOH para o recipiente com óleo e agitar com o bastão por um período de 30 minutos. Adicionar à mistura resultante a glicerina residual da produção do biodiesel. Despejar a mistura espessa numa forma de silicone e deixar secar por um período de 24-48 horas.

Discussão: Qual é a importância de deixar o sabão secar por um longo período?

[28] Adaptado de ZAGO NETO, O. G.; PINO, J. C. D. **Trabalhando a química dos sabões e detergentes.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em <http://www.quimica.seed.pr.gov.br/arquivos/File/AIQ_2011/saboes_ufrgs.pdf> Acesso em: 28 mar 2021.

Apêndice 3 - Ementa da segunda versão do curso de extensão

OBJETIVOS

Este curso tem por objetivo estudar sobre os conceitos da Química Verde a partir da experimentação química.

EMENTA

Origem da Química Verde. Experimentos Químicos. Desenvolvimento Sustentável. Biomassa. Produtos naturais. Biocombustíveis. Reciclagem. Avaliação do ciclo de vida. Economia circular. Crédito de Carbono. Matriz energética. Recursos renováveis. Métricas em Química Verde. Os doze princípios. Segurança Química. Pegada Ecológica.

PÚBLICO-ALVO: estudantes do ensino médio e técnico.

MÓDULO I

CONTEÚDOS

1) Introdução

- Definições.
- Contexto histórico.
- Desenvolvimento sustentável.

2) Experimentos Químicos

2.1) Papel

Abordagem: processo de fabricação; aplicações; impactos socioeconômicos e ambientais; reciclagem e avaliação do ciclo de vida.

Experimentos: reciclagem de papel.

Conteúdos Químicos: polímeros naturais; cadeias carbônicas e ligações intermoleculares.

2.2) Corantes

Abordagem: corantes x pigmentos; aplicações; corantes sintéticos e naturais.

Experimentos: extração por solventes; indicadores naturais ácido/base; cromatografia em camada delgada.
Conteúdos Químicos: funções orgânicas (álcool); ligações interatômicas; ligações intermoleculares e intramoleculares; polaridade da molécula; solubilidade e teorias ácido/base.

2.3) Óleos Essenciais
Abordagem: mercado consumidor; indústria de suco de laranja (processos químicos, impactos socioeconômicos e ambientais).
Experimentos: destilação por arraste a vapor; isolamento do óleo essencial.
Conteúdos Químicos: funções orgânicas (hidrocarbonetos); polaridade da molécula; ligações intermoleculares; isomeria espacial; métodos de separação de misturas (decantação) e métricas de massa (Eficiência de Material e Fator Ambiental).

3) Métricas em Química Verde

- Grau de esverdeamento ou verdura química;

- Os doze princípios da Química Verde;

- Métricas Holísticas (Matriz Verde);

- Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ);
- Segurança Química.

MÓDULO II

CONTEÚDOS

1) Avaliação Parcial
- Pesquisa sobre práticas sustentáveis na sua área técnica ou em outra de livre escolha.

2) Experimentos Químicos

2.1) Bioplásticos

Abordagem: de onde vem o plástico; plástico verde; aplicações; tipos de plásticos; tipos de bioplásticos, biodegradabilidade.

Experimentos: bioplástico de laranja.

Conteúdos Químicos: funções orgânicas (hidrocarbonetos); polímeros e biopolímeros.

2.2) Biocombustíveis/Etanol

Abordagem: impactos ambientais e socioeconômicos; produção mundial; Proálcool; benefícios da produção de bioetanol; produção nacional de etanol; mercados; processo de fabricação industrial.

Experimentos: determinação da concentração da sacarose no caldo de cana; diluição do caldo de cana; fermentação do caldo de cana; destilação do mosto e identificação de álcool.

Conteúdos Químicos: soluções; título; concentração comum; diluição; funções orgânicas (álcool, aldeído, cetona); fermentação etanólica; funções inorgânicas (base, óxidos e sal); métodos de separação de misturas (destilação simples e fracionada); estequiometria e reações redox.

2.3) Biocombustíveis/Biodiesel

Abordagem: Programa Nacional de Produção e uso do Biodiesel; benefícios da produção de biodiesel; produção nacional de biodiesel; matérias-primas utilizadas; ensaios físico-químicos.

Experimentos: teste de insaturação em óleo vegetal e gordura animal; transesterificação via catálise homogênea básica e viscosidade relativa.

Conteúdos Químicos: funções orgânicas (álcool, ácido carboxílico, éster); reação de esterificação; ligações intermoleculares; reação de halogenação; isomeria geométrica; reação de transesterificação; catálise homogênea e catálise enzimática.

2.4) Sabão

Abordagem: processo de fabricação industrial; impactos do descarte de óleo; economia circular.

Experimentos: saponificação com óleo residual de fritura; solubilidade; alcalinidade e detergência em águas duras; tensão superficial.
Conteúdos Químicos: funções orgânicas (sal orgânico); reação de saponificação; ligações intermoleculares e solubilidade; caráter hidrofóbico e hidrofílico; pH; detergência em águas duras e tensão superficial.

3) Pegada Ecológica

- Pegada Ecológica da Humanidade;

- Cálculo da pegada ecológica;

- Sobrecarga da Terra;

- Hábitos sustentáveis;

- Mercado de carbono.

4) Avaliação Final

- Projeto sustentável para ser desenvolvido na sua área técnica ou em prol da escola.

Apêndice 4 - Experimentos Químicos – aulas remotas

- **Experimento 1 –** Reciclagem de papel[29]

Substâncias e Materiais: papel picado e água.

Equipamentos e Vidrarias: béquer de plástico (2,0L), copo medidor (1,0L), tela de serigrafia e mixer.

Procedimento: Colocar o papel picado no béquer e adicionar 500 mL de água. Triturar a mistura com um mixer e deixar em repouso por 3 dias. Espalhar a mistura sobre a tela de serigrafia e deixar secar por 48 h. Remover o papel da tela.

Discussão: Todos os tipos de papel podem ser reciclados? Discuta sobre essa questão.

- **Experimento 2 –** Corantes Naturais: extração por solvente[30]

Substâncias e Materiais: casca de cebola roxa, açafrão e etanol.

Equipamentos e Vidrarias: erlenmeyer (125 mL), béquer (100 mL), proveta (50 mL), espátula, funil de vidro, papel de filtro, suporte e argola.

Procedimento: Adicionar um punhado da matriz vegetal em um erlenmeyer de 125 mL e, em seguida, adicionar 50 mL de etanol. A mistura deve ser agitada e posta em repouso por 24 horas para a extração do corante. A seguir, filtrar a mistura com papel de filtro no funil.

Discussão:

a) Pesquise quais são as substâncias responsáveis pela coloração desses alimentos.

b) A partir das características dessas substâncias, explique como ocorre a extração por solvente.

- **Experimento 3** – Corantes Naturais: indicadores ácido/base

Substâncias e Materiais: corante da casca de cebola roxa, solução de NaOH 0,1 mol/L, solução de H_2SO_4 0,1 mol/L.

Equipamentos e Vidrarias: tubos de ensaio e pipeta Pasteur.

---

[29] Adaptado de Manual do Mundo. **Como fazer papel reciclado em casa (Experimentos de Química)**. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=fjt5gWCx120> Acesso em: 28 mar 2021.

[30] Os experimentos 2 e 3 foram adaptados de DIAS, M. V.; GUIMARÃES, P.I.C.; MERÇON, F. Corantes Naturais: extração e emprego como indicadores de pH. **Química Nova na Escola**, v. 12, p. 27-31, 2003.

Procedimento: Transferir 2,0 mL de corante para um tubo de ensaio e adicionar 2 gotas de solução de NaOH 0,1 mol/L. Transferir 2,0 mL de corante para um segundo tubo de ensaio e adicionar 2 gotas de H_2SO_4 ,01 mol/L. Transferir 2,0 mL de corante para um tubo de ensaio e comparar com os outros dois. Observar a variação das cores.

Discussão: Explique por que ocorre a variação de cor.

- **Experimento 4 –** Corantes Naturais: cromatografia em camada delgada[31]

Substâncias e Materiais: corante de açafrão, solução 5% de metanol em diclorometano.

Equipamentos e Vidrarias: papel de filtro, béquer, vidro de relógio, placa cromatográfica, capilar, câmara de luz UV e lanterna luz negra.

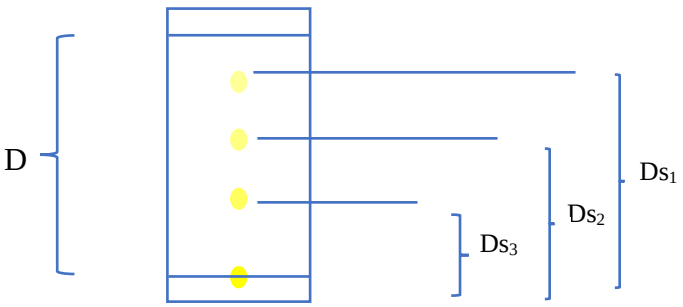
Procedimento: Cobre-se a metade da parte interna de um béquer com um pedaço de papel de filtro e adiciona-se uma solução 5% de metanol em diclorometano até que cubra todo o fundo do béquer. Tampa-se o béquer. Corta-se uma placa cromatográfica de sílica gel com cerca de 6cm x 2cm e marca-se uma linha à 0,5 cm da parte superior e outra linha à 1,0 cm da parte inferior. Aplica-se a solução do extrato do corante sobre a linha inferior da placa cromatográfica, com o auxílio de um capilar. Espera-se secar por alguns minutos. Coloca-se a placa cromatográfica dentro do béquer contendo a solução e tampa-se. Retira-se a placa assim que a solução ascender até a linha superior marcada na placa. Espera-se secar por alguns segundos e revelam-se os cromatogramas em luz ultravioleta 365nm e 254nm e luz ultravioleta A (380 a 420 nm - luz negra).

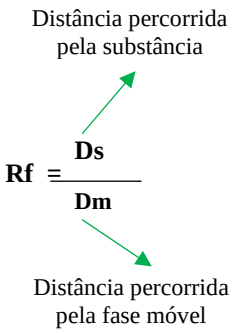
Discussão:

a) Pesquise e identifique as substâncias separadas na cromatografia.

b) Explique a diferença entre os valores dos fatores de retenção das substâncias (Rf).

Dados: Ds_1=3,1 cm; Ds_2=2,2 cm; Ds_3=1,5 cm; D_m=4,5 cm





[31] FAGUNDES, T. S. F. **Desenvolvimento de uma sequência didática usando corantes alimentícios curcuminóidicos para o ensino de química orgânica experimental da UFF**. 69f. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

- **Experimento 5 –** Óleos Essenciais: hidrodestilação[32]

Substâncias e Materiais: casca de laranja e água destilada.

Equipamentos e Vidrarias: balança, liquidificador, béquer (1,0 L), proveta (250 mL), balão de duas bocas (500 mL), condensador, mangueiras, termômetro, garras e suporte, balão coletor (100 mL), manta de aquecimento, unha de destilação, cabeça de destilação, recipiente com água e bomba d'água.

Procedimento: Cortar e pesar 100 g de casca de laranja. Transferir para um liquidificador, adicionar 200 mL de água e triturar de forma a obter uma suspensão espessa. Transferir a suspensão para um balão de destilação de duas bocas, previamente pesado, e destilar a mistura. Adicionar, através de um funil de separação, mais 100 mL de água ao longo da destilação. Interromper a destilação quando não se observar mais óleo a ser destilado (aproximadamente 3 horas e 30 minutos).

Discussão:

a) Pesquise sobre as características da hidrodestilação.

b) Pesquise sobre o principal constituinte do óleo essencial da casca da laranja.

- **Experimento 6 –** Óleos Essenciais: isolamento do óleo

Substâncias e Materiais: destilado e cloreto de cálcio anidro.

Equipamentos e Vidrarias: funil de separação, suporte e argola, balança, béquer (100 mL), tubo de ensaio, pipeta Pasteur e pipetador, frasco de armazenamento.

Procedimento: Colocar o destilado num funil de separação e separar o óleo da água. Secar o óleo de laranja com cloreto de cálcio anidro. Transferir o óleo, com a ajuda de uma pipeta de Pasteur, para um frasco limpo e seco, previamente pesado, e determinar a massa de óleo extraída. Transferir todos os resíduos para o balão de destilação e determinar a massa de resíduos.

Discussão:

a) Calcule a eficiência de material (ME) e discuta sobre o valor encontrado.
ME = (massa de óleo de laranja/massa da casca de laranja) x 100
b) Calcule o fator ambiental e discuta sobre o valor encontrado.

[32] Os experimentos 5 e 6 foram adaptados do material suplementar de 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 verdura dos processos de extração tradicionais. **Química Nova**, v.41, n.3, p.355-365, 2018. Disponível em <https://www.scielo.br/pdf/qn/v41n3/0100-4042-qn-41-03-0355-suppl1.pdf> Acesso em: 28 mar 2021.

Fator E = massa de resíduos/massa de óleo de laranja

- **Experimento 7 –** Bioplástico de casca de laranja[33]

Substâncias e Materiais: casca de laranja, água destilada, vinagre e glicerol.

Equipamentos e Vidrarias: balança, liquidificador, béquer (1,0 L), proveta (250 mL), béquer (100 mL), condensador para refluxo, balão de fundo chato (250 mL), agitador magnético, placa de aquecimento, garras e suporte, termômetro, banho-maria, peneira, recipiente com água, bomba d'água, placa de petri, estufa.

Procedimento: preparar um purê de biomassa através da mistura de 100g de cascas com 200 mL de água usando o liquidificador. Pesar 55,0g do purê e adicionar ao balão de fundo chato. Acoplar o condensador para refluxo e manter o sistema sob agitação e aquecimento a 90ºC por 30 min. Em seguida, adicionar 57,7g de vinagre e 16,5 g de glicerol. Manter a reação sob agitação e em aquecimento a 90ºC por 1h. Ao final, espalhar a massa obtida em vidro de relógio de forma a facilitar a evaporação do solvente e manter aquecido em estufa a uma temperatura de 60ºC.

Discussão:

a) Pesquise sobre as substâncias presentes no bagaço da laranja e identifique o possível agente formador do bioplástico.

b) Explique por que se adicionou glicerol.

- **Experimento 8 –** Etanol: determinação da concentração de sacarose no caldo de cana[34]

Substâncias e Materiais: caldo de cana

Equipamentos e Vidrarias: proveta (250 mL) e sacarímetro de Brix.

---

[33] Adaptado de MACHADO, B.A.S.; REIS, J.H.O.; SILVA, J.B.; CRUZ, L.S.; NUNES, I.L.; PEREIRA, F.V.; DRUZIAN, J.I. Obtenção de nanocelulose da fibra de coco verde e incorporação em filmes biodegradáveis de amido plastificados com glicerol. **Química Nova**, v.37, n.8, p.1275-1282, 2014. Disponível em <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140220> Acesso em: 13 abr 2021.

[34] Os experimentos 8, 9, 10 e 11 foram adaptados de PEIXOTO, C. R. de M.; ROSA, G. R.; SILVA, C. N.; SANTOS, B. T.; ENGELMANN, T. L. Miniprojeto para ensino de química geral experimental baseado na fermentação do caldo de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v.35, n.8, p.1686-1691, 2012. Disponível em <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000800032> Acesso em: 28 mar 2021.

Procedimento: adicionar 250 mL de caldo de cana na proveta e inserir o sacarímetro de Brix. Esperar o sacarímetro estabilizar e anotar o valor da concentração indicado pela borda do caldo.

Discussão: Explique o que significa o valor da concentração em graus Brix.

- **Experimento 9 –** Etanol: diluição do caldo de cana

Substâncias e Materiais: caldo de cana e água destilada

Equipamentos e Vidrarias: proveta (250 mL), balão volumétrico (250 mL) e sacarímetro de Brix.

Procedimento: sabendo a concentração inicial do caldo de cana, determinar o volume necessário para preparar 250 mL de solução com teor de sacarose de 14 °Brix. Medir o volume calculado na proveta e adicionar ao balão volumétrico. Completar o volume do balão com água destilada até a altura do menisco. Agitar três vezes a solução. Verificar o valor da concentração da solução com o sacarímetro de Brix.

Discussão: Explique por que utilizaremos o caldo de cana com 14 °Brix de teor de sacarose para a fermentação.

- **Experimento 10 –** Etanol: fermentação do caldo de cana

Substâncias e Materiais: caldo de cana, fermento biológico e solução saturada de $Ca(OH)_2$.

Equipamentos e Vidrarias: proveta (250 mL), kitassato (500 mL), béquer (100 mL), béquer (500 mL), mangueira, pipeta Pauster, balança, banho-maria, garras e suporte, placa de aquecimento, termômetro.

Procedimento: Transferir o volume de caldo de cana preparado na diluição para kitassato de 500 mL, previamente pesado, e pesar o kitassato novamente depois da adição para a determinação da massa de mosto usada. Após isso, pesar cerca de 9 g de fermento biológico de panificação resfriado em béquer de 100 mL e dissolvido em cerca de 20 mL de caldo, aquecido a 30°C. Tendo o fermento pronto, adicionar ao kitassato de 500 mL, que contém o mosto, e colocar em banho-maria a 30°C. Conectar o kitassato a um béquer contendo solução saturada de $Ca(OH)_2$ e deixar a fermentação ocorrer por 24 horas.

Discussão: Explique o que ocorreu na solução de $Ca(OH)_2$.

- **Experimento 11 –** Etanol: destilação do mosto

Substâncias e Materiais: mosto fermentado.

Equipamentos e Vidrarias: balão de fundo redondo (500 mL, coluna de fracionamento, cabeça de destilação, termômetro, condensador e mangueiras, unha de destilação, balão coletor (100 mL), manta de aquecimento, recipiente com água e bomba d'água, garras e suporte, balança e frasco de armazenamento.

Procedimento: Transferir o mosto para um balão de fundo redondo (500 mL), montar a aparelhagem de destilação e iniciar o aquecimento para recolher o álcool produzido. Após a destilação, transferir o álcool para um frasco de armazenamento previamente pesado e calcular a massa obtida.

Discussão:

a) Conhecendo a massa de caldo de cana e de etanol obtido, calcule o rendimento da reação. Discuta sobre o resultado.

b) Por que se empregou a destilação fracionada em vez da destilação simples?

- **Experimento 12 –** Etanol: identificação de álcool[35]

Substâncias e Materiais: etanol destilado, álcool etílico comercial, solução ácida de $KMnO_4$**.**

Equipamentos e Vidrarias: tubos de ensaio, béquer (100 mL), pipeta Pasteur,

Procedimento: Transferir uma alíquota do álcool destilado para um tubo de ensaio e adicionar gotas de solução ácida de $KMnO_4$. Observar. Repetir o procedimento com álcool comercial e comparar.

Discussão: Explique a mudança de cor observada nos tubos de ensaio.

- **Experimento 13 –** Biodiesel: teste de insaturação em óleos e gorduras[36]

Substâncias e Materiais: óleo de soja, manteiga, água destilada, solução de iodo.

Equipamentos e Vidrarias: tubos de ensaio, béqueres (50 mL), pipeta graduada e pipetador, pipeta Pasteur, placa de aquecimento, bico de Bunsen, tripé e tela de amianto, banho-maria.

---

[35] Disponível em <https://mecdb4.c3sl.ufpr.br:8443/rest/bitstreams/2580/retrieve> Adaptado. Acesso em: 10 out 2021.

[36] RUBINGER, M.M.M.; BRAATHEN, P.C. **Ação e Reação:** ideias para aulas especiais de química. Belo Horizonte: Ed. RHJ, 2012.

Procedimento: Adicione uma pequena quantidade de manteiga em um béquer e aqueça até a sua fusão completa. No segundo béquer, adicione pequena quantidade de óleo. Com o auxílio de uma pipeta Pasteur, meça 2 mL da amostra de manteiga e transfira para o tubo de ensaio 1. Transfira, com o auxílio de uma pipeta Pasteur, 2 mL da amostra de óleo para o segundo tubo de ensaio. Em um terceiro tubo de ensaio, adicione 2 mL de água destilada. Deixe esses 3 tubos de ensaio imersos em banho-maria por 1 minuto. Com o auxílio de uma pipeta graduada, adicione 2,0 mL da solução de iodo em cada um dos 3 tubos. Agite cada tubo de ensaio para homogeneizar os sistemas. Coloque os 3 tubos novamente em banho-maria por 5 minutos. Retire os tubos do banho-maria, agite novamente e retorne os 3 tubos de ensaio para o banho-maria por mais 5 minutos. Retire os 3 tubos de ensaio do banho-maria, compare os tubos 1 e 2 com o tubo contendo água e anote os resultados observados.

Discussão: Explique o que aconteceu em cada tubo de ensaio.

- **Experimento 14 –** Biodiesel: transesterificação via catálise homogênea básica[37]

Substâncias e Materiais: óleo residual de fritura, etanol, $CaCl_2$ anidro, HCl e KOH

Equipamentos e Vidrarias: balão de fundo redondo (50 mL), béquer (50 mL), proveta (25 mL), proveta (10 mL), bastão de vidro, pipeta graduada (1 mL) e pipetador, funil de separação, argola, balança, suporte e garras, agitador magnético, espátula, tubo de ensaio e frascos de armazenamento.

Procedimento: Pesar, num balão de 50 mL, 16g de óleo residual. Pesar 0,24g (1,5% em peso do óleo) de KOH num béquer de 50mL. Dissolver o KOH em 17 mL de etanol. Adicionar ao balão, sob agitação magnética, a solução de hidróxido de potássio em etanol. Deixar a mistura sob agitação por 30 minutos. Transferir a mistura para um funil de separação e deixar o mesmo em repouso por 1 hora. Recolher a fase mais densa em um frasco. Adicionar 0,2 mL de HCl concentrado e lavar 3 vezes com 10 mL de água destilada, rotacionando o funil de decantação; não pode agitar vigorosamente. Transferir a fase orgânica para um tubo de ensaio e adicionar $CaCl_2$ anidro. Verter a fase orgânica, biodiesel, num frasco de armazenamento, previamente pesado.

Discussão:

a) Pesquise e identifique quais são os componentes da fase mais densa.

b) Qual é a finalidade de adicionar HCl na fase menos densa?

c) Por que é necessário lavar a fase menos densa com água?

[37] GOMES, S. M. S. **Utilização dos conceitos da química verde na otimização das aulas práticas de química orgânica.** 67f. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Instituto Federal do Rio de Janeiro, Caxias, 2017.

d) Qual é a função do $CaCl_2$ anidro?

- **Experimento 15 –** Biodiesel: viscosidade relativa[38]

Substâncias e Materiais: água, óleo residual de fritura e biodiesel produzido

Equipamentos e Vidrarias: pipeta graduada (5 mL) e pipetador, garra e suporte, cronômetro.

Procedimento: Preencha uma pipeta graduada de 5 mL com água e meça o tempo de escoamento. Faça esse procedimento em duplicata. Utilizando o biodiesel obtido, preencha outra pipeta graduada e meça o tempo de escoamento. Faça esse procedimento em duplicata, repetindo para o óleo de fritura. Calcule a razão entre o tempo médio de escoamento do biodiesel e o tempo médio obtido para o escoamento da água. Faça o mesmo entre o tempo médio de escoamento do óleo e o da água. Os resultados representam as viscosidades relativas dos líquidos.

Discussão:

a) Discuta sobre a diferença entre as viscosidades relativas do óleo e do biodiesel.

b) Pesquise porque não utilizamos óleo vegetal como combustível?

- **Experimento 16 –** Sabão: saponificação[39]

Substâncias e Materiais: óleo residual de fritura, NaOH, água destilada e glicerina.

Equipamentos e Vidrarias: béqueres de plástico (250 mL), proveta (10 mL), bastão de madeira, balança e forma de silicone.

Procedimento: Pesar 20g de óleo residual de fritura em um béquer de plástico e reservar. Pesar 3,66g de NaOH em um béquer de plástico e adicionar aos poucos 10 mL de água sob agitação constante com o bastão de madeira. CUIDADO COM O CALOR E VAPOR LIBERADO NA DISSOLUÇÃO! Verter, aos poucos, a solução de NaOH para o recipiente com óleo e agitar com o bastão por um período de 30 minutos. Adicionar à

[38] Adaptado de RINALDI, R.; GARCIA, C.; MARCINIUK, L. L.; ROSSI, A. V.; SCHUCHARDT, U. Síntese de biodiesel: uma proposta contextualizada de experimento para laboratório de química geral. **Química Nova**, v.30, n.5, p.1374-1380, 2007. Disponível em <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422007000500054&script=sci_abstract&tlng=pt> Acesso em: 28 mar 2021.

[39] Os experimentos 16, 17, 18 e 19 foram adaptados de ZAGO NETO, O. G.; PINO, J. C. D. **Trabalhando a química dos sabões e detergentes.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. Disponível em: <http://www.quimica.seed.pr.gov.br/arquivos/File/AIQ_2011/saboes_ufrgs.pdf> Acesso em 28 mar 2021.

mistura resultante a glicerina residual da produção do biodiesel. Despejar a mistura espessa numa forma de silicone e deixar secar por um período de 24-48 horas.

Discussão:

a) Por que a água deve ser adicionada aos poucos ao NaOH?

b) Qual é a importância de deixar o sabão secar por um longo período?

- **Experimento 17 –** Sabão: teste de solubilidade

Substâncias e Materiais: água destilada, óleo residual de fritura e sabão produzido.

Equipamentos e Vidrarias: tubos de ensaio, pipeta Pasteur, placa de aquecimento, béquer (50 mL) e bastão de vidro.

Procedimento: Em um béquer de 50 mL, aqueça um pedaço de sabão até fundir. Coloque um pouco de sabão fundido em um tubo de ensaio e adicione 1,0 mL de óleo. Agite e observe. Num segundo tubo de ensaio, adicione novamente um pouco de sabão fundido e, em seguida, 1,0 mL de água. Agite e observe. Por fim, adicione 1,0 mL de água e 1,0 mL de óleo em um terceiro tubo de ensaio. Agite e observe.

Discussão: Explique a diferença na solubilidade observada nos três casos.

- **Experimento 18 –** Sabão: alcalinidade e detergência

Substâncias e Materiais: água destilada, detergente, sabão produzido, sabão líquido comercial e CaO

Equipamentos e Vidrarias: tubos de ensaio e papel indicador universal.

Procedimento 1: Coloque água até a metade em três tubos de ensaio, identificando-os com os números 1, 2 e 3. Adicione um pedaço do sabão produzido no tubo de ensaio 1 e agite até formar espuma. No tubo 2, adicione gotas de um sabão líquido comercial e agite até formar espuma. Faça o mesmo procedimento no tubo 3 com detergente. Com um papel indicador verifique o pH de cada solução.

Procedimento 2: Adicione uma ponta de espátula de óxido de cálcio no tubo 1 e no tubo 3. Agite e observe.

Discussão:

a) Explique por que o pH do sabão produzido é diferente do das outras soluções.

b) O que acontece com a água quando adicionamos CaO?

c) Discuta sobre a eficiência do sabão e do detergente em águas duras.

d) Quais são os problemas causados pela água dura?

e) Discuta sobre os impactos ambientais do uso de sabões e detergentes.

- **Experimento 19 –** Sabão: tensão superficial

Substâncias e Materiais: água destilada, solução saturada de NaCl, sabão produzido, óleo de soja.

Equipamentos e Vidrarias: provetas (50 mL) e béqueres (50 mL).

Procedimento: separe duas provetas de 50 mL. Na proveta 1, adicione 20 mL de água e na proveta 2, adicione 20 mL de solução saturada de NaCl. Adicione um pedaço de sabão às duas provetas e agite até formar espuma. Em seguida, passe óleo de cozinha em dois béqueres e teste o poder de limpeza das duas soluções.

Discussão: Explique por que há diferença no poder de limpeza das soluções.