

<https://doi.org/10.56117/ReSBEEnQ.2023.v4.e042301>

Inserção da Química Verde no ensino de química visando uma sociedade mais sustentável

*Insertion of Green Chemistry in education of chemistry aiming at a more
sustainable society*

*Inserción de la química verde en la enseñanza de la química apuntando a una
sociedad más sostenible*

Geovani Aristeu Lima Silva (geovaniariesteu@hotmail.com)

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Duque de Caxias, RJ, Brasil
orcid.org/0000-0002-8159-5098

Queli Aparecida Rodrigues de Almeida (queli.passos@ifrj.edu.br)

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Duque de Caxias, RJ, Brasil
orcid.org/0000-0003-0158-4864

Suelen Stutz Gomes (susu_stutz@hotmail.com)

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Duque de Caxias, RJ, Brasil
orcid.org/0000-0003-1997-7674

Thainá Nascimento da Conceição Gomes (thai.gomess23@gmail.com)

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Duque de Caxias, RJ, Brasil
orcid.org/0000-0003-0070-6575

Thiago Muza Aversa (thiago.aversa@ifrj.edu.br)

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Duque de Caxias, RJ, Brasil
orcid.org/0000-0003-3741-8948

Resumo

O papel da química no desenvolvimento sustentável é contribuir para um planejamento ambientalmente amigável de seus produtos e processos, levando em conta aspectos ambientais e de saúde humana, por meio dos princípios da Química Verde. Embora a contribuição dessa filosofia verde ao futuro esteja bem estabelecida na literatura, trabalhar ideais verdes para a sustentabilidade é um desafio, seja pela complexidade em formar profissionais capacitados, seja pela total ausência desses ideais em espaços de educação em química. Portanto, nosso objetivo foi buscar a inserção dos preceitos da

Química Verde em uma instituição de Ensino Básico e Superior, e avaliar seu impacto na formação continuada de técnicos e futuros professores de Química, utilizando modelos que investigam os impactos da inserção desses ideais propostos. Para isso, duas ações foram realizadas para aplicação da Química Verde ao cotidiano químico na Educação Básica e Superior: (i) o evento “Dia Verde: Repensando práticas do laboratório no Ensino de Química de forma sustentável”; e (ii) propostas de aula para ensino de conceitos químicos, sob a ótica da Química Verde na disciplina eletiva que aborda a temática desenvolvida neste trabalho. Resultados indicaram que essas ações constituem uma contribuição promissora para a formação de cidadãos atuantes na resolução de problemas em suas áreas de trabalho. Considerando o potencial multiplicador de ideias, observamos que a inserção da Química Verde nos Ensinos Básico e Superior pode contribuir com a formação de profissionais capacitados para disseminação de uma química mais sustentável.

Palavras-chave: *Ensino de Química, Desenvolvimento Sustentável, Química Verde.*

Abstract

The role of chemistry in sustainable development is to contribute to an environmentally friendly planning of its products and processes, taking into account environmental and human health aspects, through the principles of Green Chemistry. Although the contribution of this green philosophy to the future is well settled in the literature, working with green ideals for sustainability is a challenge, either because of the complexity of training trained professionals, or because of the total absence of these ideals in chemistry education spaces. Therefore, our objective was to seek the insertion of Green Chemistry precepts in an institution of Basic and Higher Education, and to evaluate its impact on the continuing education of technicians and future Chemistry teachers, using models that investigate the impacts of the insertion of these proposed ideals. For this, two actions were carried out to apply Green Chemistry to the chemical routine in Basic and Higher Education: (i) the event “Green Day: Rethinking laboratory practices in Chemistry Teaching in a sustainable way”; and (ii) class proposals for teaching chemical concepts, from the perspective of Green Chemistry in the elective course that approaches the theme developed in this work. Results indicated that these actions constitute a promising contribution to the formation of active citizens in solving problems in their work areas. Considering the potential multiplier of ideas, we observe that the inclusion of Green Chemistry in Basic and Higher Education can contribute to the training of trained professionals to disseminate more sustainable chemistry.

Keywords: *Chemistry Teaching, Sustainable Development, Green Chemistry.*

Resumen

El papel de la química en el desarrollo sustentable es contribuir a una planificación ecológica de sus productos y procesos, teniendo en cuenta los aspectos ambientales y de salud humana, a través de los principios de la Química Verde. A pesar de la contribución de esta filosofía verde al futuro está bien establecida en la literatura, trabajar con ideales verdes para la sustentabilidad es un desafío, ya sea por la

complejidad de formar profesionales cualificados, o por la ausencia total de estos ideales en los espacios de educación química. Por lo tanto, nuestro objetivo fue buscar la inserción de preceptos de Química Verde en una institución de Educación Básica y Superior, y evaluar su impacto en la formación continua de técnicos y futuros profesores de Química, utilizando modelos que investigan los impactos de la inserción de estos propuestos. ideales Para ello se realizaron dos acciones de aplicación de la Química Verde a la química cotidiana en la Educación Básica y Superior: (i) el evento “Día Verde: Repensando las prácticas de laboratorio en la Enseñanza de la Química de manera sustentable”; y (ii) propuestas de clase para la enseñanza de conceptos químicos, desde la perspectiva de la Química Verde en el curso electivo que aborda el tema desarrollado en este trabajo. Los resultados indicaron que estas acciones constituyen un aporte promisorio para la formación de ciudadanos activos en la solución de problemas en sus áreas de trabajo. Considerando un potencial multiplicador de ideas, observamos que la inclusión de la Química Verde en la Educación Básica y Superior puede contribuir a la formación de profesionales capacitados para difundir una química más sostenible.

Palabras clave: *Enseñanza de Química. Química Verde. Curriculum Mínimo*

Introdução

A necessidade de se considerar o impacto das atividades e relações humanas no ambiente que habitam é fundamental para manutenção da qualidade de vida. Racionalizar que a evolução e o progresso social dependem de um equilíbrio entre economia, ambiente e sociedade foi um grande avanço para nortear políticas públicas, teorias e iniciativas menos danosas ao planeta – e menos desiguais aos seus cidadãos. Empoderando as ciências como protagonistas nesse processo, à luz de sua influência em habilitar sujeitos a interagirem com problemas científicos e tecnológicos que influenciam as dinâmicas sociais, o ano de 2022 foi eleito o Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável. Tal iniciativa também é desdobramento da agenda 2030, que por sua vez trabalha os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, por meio de 169 metas, orientadas para a proteção das pessoas e do planeta, promoção da paz, prosperidade e parceria global, onde os países mais desenvolvidos devem ajudar os menos desenvolvidos (ONU, 2015; Vasconcelos e Freitas, 2012).

Para alcançar a sustentabilidade desejada, o desenvolvimento precisa de três indicadores globais: (i) ser economicamente sustentado (eficiente); (ii) socialmente inclusivo e (iii) ecologicamente equilibrado e prudente (Romeiro, 2012). As ciências possuem papel central em articular relações entre esses três parâmetros: para o ano de

2022, sindicatos internacionais de diversas áreas das ciências se associaram em prol da interdisciplinaridade que o desenvolvimento sustentável exige. Um dos sindicatos globais vinculados à essa iniciativa é a União Internacional de Química Pura e Aplicada – IUPAC, estimulando reflexões sobre o papel da química no passado, presente e cumprimento dos objetivos elencados para o futuro.

A Química – enquanto ciência que estuda as propriedades e transformações da matéria – trouxe diversos avanços à sociedade, como por exemplo, o aumento na disponibilidade de nitrogênio para uso como fertilizantes (processo de Haber-Bosch), que permitiu uma maior produção de alimentos (Garcia, Cardoso e Santos, 2013). Hoje, produtos químicos são a base da vida. Porém, a crescente atividade química – resultante do mesmo aumento da população global – expôs cronicamente a saúde humana e o ambiente à diversos compostos, de diferentes origens, por meio de diferentes vias (Escher, Stapleton e Schymanski, 2020). Sendo assim, em novos rumos, a base material de uma sociedade sustentável dependerá de produtos e processos químicos que sejam projetados seguindo princípios que os tornem adequados à vida (Zimmerman *et al.*, 2020).

Os aspectos químicos relacionados ao uso da matéria em uma sociedade sustentável devem prezar pela eficiência de tudo aquilo que é criado e/ou consumido. O futuro da química não passa pela reflexão do uso de produtos químicos sintéticos, mas sim pela natureza, compatibilidade e processos de produção de compostos adequados a uma conduta responsável (Zimmerman *et al.*, 2020). Seguindo esse caminho, sendo precursora de uma química mais sustentável (Zuin *et al.*, 2021) – em prol do desenvolvimento sustentável –, existe a Química Verde – QV que, pela definição clássica de seus principais idealizadores, representa “o desenho, o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos para reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias nocivas à saúde e ao ambiente” (Anastas e Warner, 1998, p.11).

A QV emergiu em meio a doze princípios (Figura 1), que juntos idealizam uma conduta química benigna, tendo os ideais verdes (Lenardão *et al.*, 2003).

Figura 1. Os doze princípios da Química Verde.



Fonte: Elaborado pelos autores

É essencial ponderar que não é fácil atender a esses critérios em sua totalidade e, talvez, sequer seja possível um processo integralmente verde. A oportunidade dessa abordagem está no grau de atendimento aos seus princípios: quanto maior, mais verde. Porém, uma aplicação ou um processo mais verde não se converte diretamente em maior sustentabilidade, já que a química não é uma construção social: isto é, não altera comportamentos e propriedades dos compostos por essa condição, e sim por sua própria natureza. Contudo, a partir de ideais sociais e econômicos nos quais se considera pontos de vista, poder de escolha e proposição de valores, a QV se torna uma construção coletiva ao desenvolvimento sustentável (Zuin *et al.*, 2021).

É de extrema importância que um procedimento químico seja avaliado de acordo com a sua veracidade dentro dos 12 princípios da Química Verde, definindo quais desses princípios serão relevantes ou não para cada estudo. É possível prever e avaliar a veracidade química dos experimentos através de alguns requisitos, como por exemplo: um processo não ter efeitos nocivos ao ser humano, biosfera e meio ambiente; não gerar resíduos tóxicos e/ou perigosos; consumir baixa energia; ser preparado de forma segura, e que, de preferência, seja a partir de fontes de matérias-primas renováveis. A veracidade química deve sempre ser perseguida, mas raramente será atingida por completo (Machado, 2014, p. 51).

Para adequação aos pilares sustentáveis (economia, ambiente e sociedade), a Química precisa construir coletivamente seu legado e a educação deve ser concebida como meio promissor, ao passo que se concentra no desenvolvimento humano à medida

que interagem e refletem sobre o mundo. Nesse sentido, a educação está relacionada com a capacidade de contribuir com o desenho de uma sociedade crítica e responsável com o impacto de suas escolhas, tendo em vista seu potencial: (i) multiplicador de ideias; (ii) plural, sinérgico para diversas vivências e (iii) empoderador/encorajador de reflexões críticas, junto a respectivas ações (Rauch, 2015). Esforços pelo esverdeamento do currículo escolar em química – bem como na formação dos professores responsáveis por essa área – fazem parte de iniciativas que prezam o desenvolvimento sustentável (Almeida e Silva, 2019; Mansilla, Muscia e Ugliarolo, 2013; Marqués e Machado, 2018). Entretanto, a Química Verde ainda carece de relatos práticos sobre o impacto da inserção de seus ideais na educação básica, bem como na formação dos profissionais que nela atuam (Almeida *et al.*, 2019).

A Química possui uma linguagem própria e o ensino da Química deve ser um facilitador da leitura do mundo (Chassot, 1990). Ensina-se Química para permitir que o cidadão possa interagir melhor com o mundo, entendê-lo e melhorá-lo. Conferir um olhar benigno à Química faz parte das agendas que visam garantia de um futuro sustentável, igualitário e inclusivo. Enquanto ciência que promove a leitura de mundo, esverdear o ensino de Química ajudará no empoderamento de novas gerações, dando suporte ao desenvolvimento humano sem comprometer a qualidade de vida.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo gerar reflexões sobre os conceitos da QV em uma determinada instituição de ensino, buscando orientar o ensino de Química em prol da educação para desenvolvimento sustentável. Buscamos compreender os impactos de atividades experimentais mais verdes no ensino médio-técnico, bem como na formação de professores de Química, na qual foram desafiados a trabalhar conceitos químicos sob a ótica da filosofia verde. Resultados indicaram o potencial promissor dessas abordagens a uma sociedade mais responsável, a partir da integração entre a Química Verde e a Educação em Química.

METODOLOGIA

Os estudos relacionados à inserção da Química Verde no ensino básico e superior ocorreram no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – IFRJ, *campus* Duque de Caxias. No momento em que as atividades experimentais foram

conduzidas para esta pesquisa (segundos semestres de 2018 e 2019), o *campus* contava com um curso de Licenciatura em Química e Cursos Técnicos em Petróleo e Gás e em Química integrados ao Ensino Médio.

A pesquisa foi conduzida de modo qualitativo, sendo analisados relatos relevantes, onde foram apresentadas experiências vivenciadas e alguns problemas foram apontados e/ou expostos e, a partir destes, levantadas as discussões pertinentes ao objetivo deste artigo. A pesquisa qualitativa considera a Ciência como saber resultante das interações sociais no contexto sociocultural que as cercam. O objetivo dessa abordagem é compreender o significado dos fenômenos a partir de quem os vivência. Compreende, portanto, que a Ciência é uma área de conhecimento produzida por seres humanos que significam o mundo e seus fenômenos (Mól, 2017). Deste modo, a abordagem qualitativa oferece condições à pesquisa para compreender, decodificar, explicar e enfatizar a multiplicidade do campo educativo, por meio do contato direto com a situação investigada (Lüdke e André, 1986).

Para investigar os impactos da inserção de ideais verdes na formação de profissionais de Química, três modelos descritos Sandri e Filho (2019), baseados em Burmeister, Rauch e Eilks (2012), foram escolhidos: (i) o modelo 1 aplica princípios da química verde às aulas experimentais; (ii) o modelo 2 incorpora esses mesmos princípios ao conteúdo curricular de química; (iii) o modelo 3 trabalha a QV por meio de questões sociocientíficas, incluindo saberes sobre a relação da química com a sociedade, iniciando a chamada Educação para o Desenvolvimento Sustentável – ESD. Essas três abordagens foram pensadas para levantar concepções de uma comunidade escolar a respeito da inserção da QV em seu cotidiano, seja em sala de aula ou em atividades laboratoriais.

Em termos do grau de correlação da Química Verde à educação para o desenvolvimento sustentável: (i) no modelo 1, os princípios da QV são inseridos em aulas experimentais, valorizando a redução de reagentes e gasto energético, preocupando-se em praticar uma química mais segura, contudo sem avaliar a veracidade do experimento; (ii) o modelo 2 passa a discutir a QV por meio de métricas, avaliando sistematicamente a veracidade dos experimentos propostos, envolvendo os alunos em uma discussões sobre aspectos econômicos e ecológicos das métricas e seus princípios; (iii) o modelo mais abrangente aborda a Química Verde como saber inerente a discussões éticas, econômicas

e políticas, de forma transversal ao conteúdo curricular, numa perspectiva entre a ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. Assim, estimulando uma prática consciente e intencional, onde a mesma é abordada tanto em aulas teóricas como em aulas experimentais.

A construção da metodologia se deu em duas etapas, sendo uma voltada ao ensino básico (ensino médio-técnico) e a outra com ênfase na formação de professores de Química (ensino superior). A primeira etapa foi construída com base nos modelos 1 e 2, apresentando à comunidade escolar algumas atividades experimentais, sob o viés da Química Verde, e uma métrica holística para avaliação do grau de veridicidade dos experimentos (Estrela Verde – EV). A segunda etapa levou em conta aspectos dos modelos 2 e 3, estimulando reflexões de professores de Química em formação sobre ideais verdes incorporados ao currículo de química - em prol do desenvolvimento sustentável. Em cada uma dessas etapas foram levados em consideração a abordagem didática, postura do professor, momento e frequência de aplicação das atividades e os objetivos educacionais. Algumas questões foram trabalhadas de modo a buscarmos entender como o conhecimento em QV foi concebido e, possivelmente, identificado no percurso formativo de cada participante – além de estudar suas opiniões sobre a importância dessa filosofia para o futuro profissional, ambiental e humano.

Primeira etapa: Dia Verde

Em busca de um amplo envolvimento da comunidade com a Química Verde – contribuindo com uma conduta química mais responsável à formação de futuros profissionais da química –, um evento foi elaborado, intitulado: “Dia verde – Repensando práticas de laboratório no ensino de Química de forma sustentável”. As atividades ocorreram no laboratório de Química Orgânica do *campus* com o intuito de analisar a percepção dos alunos dos cursos técnicos e de graduação perante a apresentação dos conceitos da Química Verde no decorrer de algumas aulas práticas previstas no ementário dos cursos, nas diferentes disciplinas que envolviam química orgânica. Esse evento foi realizado e organizado pelo grupo de pesquisa em QV da instituição, em data próxima ao fim do semestre, com carga horária total de 16 horas.

Os visitantes entravam no laboratório em grupos de 16 pessoas, alunos dos cursos técnicos e de graduação, e o evento era dividido em quatro blocos: (i) apresentação sobre os doze tópicos da Química Verde; (ii) apresentação de algumas das atividades experimentais desenvolvidas pelo grupo de pesquisa, que tiveram como base doze tópicos (produção de biodiesel em meio básico assistida por ultrassom, síntese de bioplástico, síntese da dibenzalacetona e cromatografia de flores tipo hibisco em coluna de açúcar); (iii) discussão e avaliação da verdura desses experimentos através da estrela verde; (iv) preenchimento de um questionário semiestruturado.

Após os experimentos serem demonstrados à um grupo de visitantes do evento, eles eram levados para uma sala e, com o auxílio de um professor e um aluno de iniciação científica do grupo de pesquisa, iniciavam a construção e discussão da EV obtida para cada experimento observado no laboratório minutos antes. Os visitantes eram separados em pequenos grupos, onde cada grupo ficaria responsável pela construção da EV do experimento escolhido. Para isso, eles seguiriam os seguintes passos listados a seguir: examinar todas as substâncias envolvidas e as condições da realização do experimento, conhecer as quantidades de cada reagente, buscar informações sobre as substâncias envolvidas na ficha de informação e segurança dos produtos químicos (FISPQ), verificar as informações acerca da renovabilidade e degradação dos reagentes e produtos formados e por fim alimentar com os dados recolhidos a planilha disponível.

Produção de biodiesel em meio básico assistida por ultrassom

Foi desenvolvido um protocolo usando uma fonte alternativa de energia, o ultrassom. Diferentes tipos de biodiesel foram sintetizados em etanol, usando óleos residuais de soja, de milho, de amendoim, de girassol e de canola; 0,75% de catalisador básico (KOH) ou 1% de catalisador ácido (H_2SO_4), em 40 minutos no banho de ultrassom. No experimento tradicional se utiliza uma maior quantidade de catalisador básico, o tempo de reação é de aproximadamente 3h, em temperatura ambiente, porém sob agitação constante, uso de metanol e a separação do biodiesel e glicerina é tida como muito difícil, tornando o rendimento de biodiesel mais baixo (Marchetti; Miguel; Errazu, 2007). Os tópicos de Química Verde enfatizados são: eficiência energética, uso de fontes de matéria-prima renováveis e uso de solvente mais seguro, o etanol.

Síntese de bioplástico

O bioplástico foi obtido a partir da reação entre a tapioca comercial e o ácido cítrico presente no suco de cinco limões. A mistura foi aquecida por 15 minutos a 180 °C se tornando uma pasta espessa. Em seguida, esta foi colocada em uma forma para secar por 6 h. As sínteses comuns dos plásticos envolvem uso de diversos reagentes nocivos à saúde, como por exemplo, o estireno (Franchetti e Marconato, 2006). Os alunos puderam ainda, acompanhar via fotos, a degradação desse material na natureza. Os tópicos trabalhados que contemplam a Química Verde foram: o desenvolvimento de produtos seguros, o uso de fontes de matéria-prima renováveis e a produção de produtos degradáveis.

Síntese da dibenzalacetona

Para demonstrar um exemplo do tópico de economia atômica foi feita a condensação de Claisen-Schmidt, partindo de benzaldeído, acetona e uma solução 1 mol/L de NaOH, obtendo-se um sólido amarelo (dibenzalacetona), com 90 % de rendimento (Conard e Dolliver, 1932). Este produto é utilizado em protetores solares e sua recristalização ocorreu em etanol, no lugar do metanol, um solvente tóxico e nocivo, anteriormente utilizado.

Cromatografia do extrato de flores tipo hibisco em coluna de açúcar

O tópico da química intrinsecamente segura foi abordado nesta prática. Utilizou-se açúcar como fase estacionária, derivada de biomassa, no lugar da sílica, um pó fino e perigoso à saúde. Foi possível separar as cianinas e flavonoides encontrados nos hibiscos vermelhos, com o uso da mistura hexano e acetato de etila (7:3) como fase móvel. Essa coluna pode ser reutilizada para outras separações de substâncias orgânicas naturais, como: terpenos nas folhas de boldo do Chile e xantinas e b-caroteno do espinafre (Fonseca e Gonçalves, 2004).

As práticas foram realizadas com experimentos de fácil execução, em tempos razoáveis, adequados para aulas experimentais. Empregou-se ainda reagentes e solventes com menor risco à saúde humana, mostrando que é possível a execução de experimentos utilizando os conceitos da Química Verde nas aulas práticas de laboratório.

Segunda etapa: QV na formação de professores de Química

Diferente do primeiro, este foi destinado somente aos alunos do curso de Licenciatura em Química. A elaboração de aulas contextualizadas ocorreu em quatro fases: (i) Escolha de um conceito químico do Ensino Médio da Secretaria Estadual de Educação do Rio de Janeiro (SEEDUC/RJ); (ii) Correlação do conceito químico escolhido com um tema gerador, que auxiliasse na problematização e contextualização no cotidiano dos alunos; (iii) Criação de uma situação-problema, dentro do tema gerador que, por sua vez, seria explicada e/ou solucionada pela química e por alguns dos doze tópicos da Química Verde; (iv) Preenchimento de um questionário semiestruturado.

Os conceitos químicos abordados foram: Combustão, Interações Intermoleculares, Funções, Reações Orgânicas e Polímeros (Tabela 1). As aulas, com os temas escolhidos, foram apresentadas pelos alunos na turma da disciplina optativa de Química Verde dos períodos de 2018.2 (14 alunos) e 2019.2 (18 alunos).

Tabela 1. Estrutura base das propostas de aula.

Tema gerador	Conceito químico	Ano do Ensino Médio	Tópicos da Química Verde abordados
Combustíveis: gasolina e sua utilização	Combustão	1º	Síntese segura Desenvolvimento de produtos seguros Matéria-prima renovável Produtos degradáveis
Água	Interações intermoleculares Solubilidade Propriedades físicas	1º	Uso de solventes seguros Sínteses de produtos seguros
Polímeros	Reação de polimerização Reações orgânicas	3º	Prevenção Matéria-prima renovável Catalisadores
Fármacos e suas sínteses	Funções orgânicas Reações orgânicas	3º	Síntese segura Uso de solventes e auxiliares seguros Uso de catalisadores Matéria-prima renovável Busca pela eficiência energética

Fonte: Elaborada pelos autores

Após a abordagem dos temas e tópicos da Química Verde mencionados, um questionário foi apresentado e respondido pelos alunos do curso de Licenciatura em Química presentes na disciplina optativa de Química Verde.

Resultados e Discussão

Embora a Química Verde tenha conquistado espaço em diversos espaços de divulgação do conhecimento científico (Virges *et al.*, 2021; Zuin *et al.*, 2021; Moreno e Carlosama, 2020; Serrano e Ruvalcaba, 2013), mais esforços são necessários para que as instituições tenham dimensão da contribuição desse saber à formação de profissionais, tanto dos técnicos quanto dos professores de Química. Para mensurar o impacto desse “novo” *modus operandi* da química nos níveis médio-técnico e superior em uma dada realidade local, intervenções foram construídas com base em modelos de inserção de ideais verdes à educação em química. Ao conduzir essas iniciativas, observamos que muitos discentes tiveram seu primeiro contato com a temática proposta a partir dos comentários e das situações trazidas por eles para discussão. Isso mostra que existe lacuna na formação desses profissionais. Esse resultado mostra que, mesmo após trinta anos do surgimento da Química Verde, tal espaço de Educação em Química ainda parece a desconhecer.

Estudos sobre o papel química para um futuro sustentável mostram que a QV é necessária, pois auxilia nos processos de ação e educação para a sustentabilidade (Zuin e Marques, 2015; Sandri e Filho, 2016; Zandonai *et al.*, 2016). Portanto, pode ser interessante que investigar o contato inicial da filosofia verde com a comunidade escolar do *campus* traga material para uma futura reestruturação curricular, incorporando a QV em aulas teóricas e práticas. Seguindo esse ponto, uma exposição de práticas mais limpas foi montada e dividida em quatro, dos quais, dois foram expositivos e outros dois contaram com a interação dos participantes com o conhecimento abordado na atividade. Um desses momentos de interação dos discentes e a QV se deu por meio de avaliação do grau de verdura dos experimentos expostos, onde uma métrica holística foi trabalhada, chamada de Estrela Verde (EV). Essa abordagem proporciona melhor conscientização dos princípios de uma atividade química mais limpa, em interface com os modelos 1 e 2 de educação em química para o desenvolvimento sustentável.

Sem avaliação do grau de verdura, os objetivos teóricos da QV podem divergir da realidade prática, onde variáveis inerentes às transformações da matéria influenciam o resultado final. Portanto, métricas foram criadas para representar – globalmente – aspectos multivariados de qualquer análise de verdura (Machado, 2015). A Estrela Verde – EV é uma das métricas adotadas, principalmente no campo de ensino, por ser de fácil leitura visual e simples compreensão global do processo avaliado. Ela pode ser utilizada para experimentos com ou sem síntese envolvida e é constituída por uma estrela com o número de pontas necessárias, de acordo com o número de princípios da Química Verde analisados nesse determinado experimento (6 ou 10 princípios), que são pontuados e a razão global das pontuações atribuídas gera o Índice de Preenchimento da Estrela – IPE, que por sua vez é a informação principal dessa métrica. A EV de 10 pontas é a mais comum, onde P4 e P11 são evitados por não haver síntese de novos produtos. A de 6 pontas é concebida para processos de purificação, separação de compostos.

Especificamente, critérios pré-estabelecidos dão preenchimento a cada ponta da EV, podendo ser pontuadas de 1 (um) a 3 (três), onde 1 é a ausência de verdura química; 2 uma verdura química parcial e 3, plenamente verde. O IPE é calculado a partir da razão [(área da estrela/área verde da estrela de verdura máxima) * 100], onde IPE = 100 representa verdura máxima e o IPE = 0 representa verdura mínima (Ribeiro, Costa e Machado, 2010). Para sua construção, utiliza-se a plataforma *online* disponível em www.educa.fc.up.pt, permitindo uma análise rápida e fácil partindo das informações que o pesquisador, professor ou estudante coloque nessa plataforma acerca do experimento que se deseja analisar (Machado, 2014). A aplicação dos princípios da química verde às aulas experimentais oferece uma visão mais ampla sobre os desafios referentes às questões econômicas, sociais e ambientais dessa atividade (Andrade e Zuin, 2021). O conhecimento da verdura global dos experimentos apresentados poderá auxiliar na conscientização dos profissionais do ensino médio-técnico e superior quanto ao impacto que as atividades químicas têm no ambiente na saúde humana.

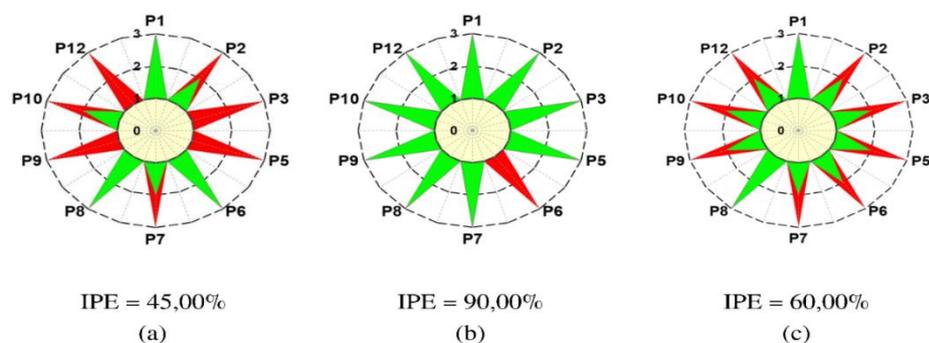
Após a construção da EV para cada experimento no evento da primeira etapa, os integrantes de cada grupo discutiam com o professor sobre seus resultados e também tinham a oportunidade de observar e discutir os resultados obtidos para outros experimentos, elaborados por outro grupo. Diversas Estrelas Verdes forma geradas, visto

que no evento um total de 94 alunos de diversos cursos e níveis de ensino participaram do início ao fim das quatro etapas. Para cada experimento do evento foi selecionada uma EV mostrada a seguir, levando-se em consideração que muitas delas tiveram semelhanças na sua construção pelos alunos participantes.

Para o experimento da produção do biodiesel em meio básico com o uso de ultrassom como fonte alternativa de energia, a EV nos mostra graficamente que os princípios P1 (referente a geração de resíduos), P6 (eficiência energética) e P8 (o não uso de derivatizações) foram atendidos totalmente no experimento. Os princípios P2 (uso de algum reagente em excesso), P7 (uso de matérias primas renováveis) e P10 (que trata da degradabilidade) foram atendidos parcialmente e os princípios P3 (uso de alguma substância com perigo elevado), P5 (solventes seguros) e P9 (uso de um catalisador perigoso) não foram atendidos, pois uma ameaça inevitável nesse experimento é o uso do KOH, que envolve perigo elevado para saúde e meio ambiente. A EV obtida possui um índice de preenchimento verde de 45% (Figura 2a).

No experimento do bioplástico a partir da tapioca e suco de limão, a EV obtida apresenta um índice de preenchimento verde de 90%, onde apenas o princípio P6 não foi atendido, devido ao uso inevitável de aquecimento a 180°C (Figura 2b). Na síntese da dibenzalacetona, a EV obtida possui 60% de índice de preenchimento verde, porém só atende completamente os princípios P1 (resíduos) e P8 (sem o uso de derivatizações). Todos os demais princípios são atendidos parcialmente, devido ao uso de substâncias inevitáveis para essa síntese como benzaldeído, acetona e hidróxido de sódio, além do uso de banho de gelo (Figura 2c).

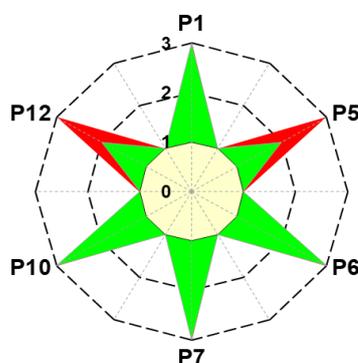
Figura 2: Estrela Verde construída para (a) o experimento do biodiesel; (b) experimento do bioplástico e (c) síntese da dibenzalacetona.



Fonte: Elaborado pelos autores em www.educa.fc.up.pt

Por fim, o experimento da cromatografia em açúcar com as folhas do hibisco vermelho, temos uma estrela de apenas 6 pontas, por se tratar de um experimento que não envolve síntese. Neste caso, por não pontuarem, princípios da QV relacionados à síntese são excluídos de modo a evitar interferências na razão que calcula o índice de preenchimento. Portanto, P2, P3, P4, P8, P9 e P11 são evitados – porém válidos em outras situações. A EV obtida nesse experimento possui um índice de verdura de aproximadamente 84%, onde apenas os princípios P5 e P12 são atendidos parcialmente devido ao uso dos eluentes para essa prática terem sido uma mistura de hexano e acetato de etila (Figura 3).

Figura 3. Estrela Verde construída para o experimento da cromatografia em açúcar.



Fonte: Elaborado pelos autores em www.educa.fc.up.pt

Aplicando o modelo de abordagem intermediário nesse primeiro momento descrito em nosso trabalho, a avaliação de tais experimentos através da métrica holística EV, permitiu que os alunos se envolvessem com tal análise, tendo um papel de protagonismo, estimulando um olhar mais crítico dos alunos com relação às práticas no decorrer do seu curso.

Ao término da avaliação do grau de verdura dos experimentos propostos, um questionário foi construído e aplicado a fim de coletar respostas sobre o impacto inicial da filosofia verde na formação profissional de cada participante (Figura 4). Como já mencionado anteriormente, um total de 94 alunos compareceram ao evento e responderam ao questionário. Deste total, 42 alunos do Ensino Médio técnico dos cursos de Química ou Petróleo de Gás, que possuem a faixa etária de 14 a 18 anos de idade e 52

alunos do curso de Graduação em Licenciatura em Química, na faixa etária de 17 a 24 anos de idade.

Figura 4. Questionário aplicado aos alunos presentes no “Dia Verde” (Primeiro momento).

- 1) As práticas foram relevantes para as disciplinas de química orgânica?
- 2) A proposta de experimentação dos conteúdos aprendidos em sala seria executada facilmente por você e os demais colegas?
- 3) Qual a importância da química para conhecimento e preservação do meio ambiente?
- 4) Com as práticas de Química Verde pode-se ampliar seus conhecimentos acerca das questões ambientais? Se sim, como?
- 5) Como você define agora a Química Verde?
- 6) Você observou os princípios da Química Verde explicados sendo executados nos experimentos?
- 7) Você consegue ver a Química Verde em algum experimento que já tenha feito ao longo de sua vida acadêmica?

Fonte: Elaborada pelos autores

Quando perguntados se as práticas foram relevantes para as disciplinas de química orgânica, 98% dos alunos disseram que sim e 2% não responderam. Dentre os 98% que responderam sim, todos mencionaram que estavam surpresos que as práticas poderiam ser elaboradas de outra maneira, aplicando a Química Verde. Esse resultado sugere que a maioria dos alunos vê as atividades experimentais de química orgânica como mera reprodução de um roteiro, em consonância com a teoria aprendida em sala de aula, sem espaço para reflexão do impacto dessa atividade à saúde humana e ao ambiente.

Quando perguntados se a proposta de experimentação dos conteúdos aprendidos em sala seria executada facilmente pelo aluno e os demais colegas, 84% dos alunos responderam que sim, 5% responderam que não e 11% dos alunos responderam talvez. Embora essa questão fosse dissertativa, os alunos não desenvolveram suas respostas

alegando falta de experiência no tema. Essa observação indica que uma única abordagem, de um único dia, não é suficiente para observarmos mudanças na prática profissional dos participantes, seja como técnicos ou como professores de Química. Abordagens de maior extensão, junto ao escopo de disciplinas, serão necessárias.

A terceira pergunta questionava a importância da química para conhecimento e preservação do meio ambiente, alguns dos alunos responderam que era “Através da possibilidade de ser menos nociva e diminuir os impactos com um descarte mais adequado”, a maioria deles responderam que era “Através do desenvolvimento de técnicas para preservar o meio ambiente.” e uma minoria das pessoas não responderam ou não entenderam. Nós observamos que maioria dos participantes é capaz de reconhecer que tornar as atividades químicas mais sustentáveis é fundamental ao futuro, embora uma parcela dos participantes demonstre que observar tamanha importância não seja algo simples. Essa dificuldade pode ir de encontro com a pergunta anterior, que revela dificuldades – por parte dos alunos – em enxergar meios para tornar a química mais sustentável.

A pergunta de número 4 foi: “Com as práticas de Química Verde pode-se ampliar seus conhecimentos acerca das questões ambientais? Se sim, como?” 92% dos alunos responderam que sim e 8% não responderam ou não entenderam. Dos 92% de respostas positivas, 67% justificaram dizendo: “Nos conscientizou sobre os impactos causados pela química no meio ambiente e ensinou novas maneiras de realizar algumas práticas, sendo menos prejudicial.”, 22% justificaram com: “Abordando práticas com os tópicos da Química Verde inseridos que nos atentam às questões acerca da preservação do meio ambiente” e 11% não justificaram. Esses resultados sugerem o potencial dos ideais verdes em pavimentar o futuro para uma atividade química mais limpa. Mesmo que alguns alunos não consigam argumentar, a maioria consegue reconhecer que experimentos mais verdes impactam menos o ambiente.

Na 5ª pergunta foi pedido que os visitantes definissem a Química Verde. 62% das pessoas responderam: “Área da química que se baseia em 12 tópicos e que visa o menor impacto possível no meio ambiente e na saúde humana.”, 15% responderam: “A química sustentável, limpa, consciente, que ajuda o meio ambiente.”, 12% responderam: “Processos que eliminem ou diminuam a formação e/ou uso de substâncias nocivas.”, 4%

responderam: “Bom, essencial e muito importante.” e 7% não responderam ou não entenderam. Em consonância com as conclusões anteriores, os participantes do Dia Verde conseguiram identificar o impacto da Química no ambiente e, a partir dos ideais verdes apresentados, conseguiram reconhecer que existe uma nova forma de conduzir a experimentação, atividade inerente à Química. Mesmo que os meios para que isso aconteça ainda sejam de difícil compreensão, o reconhecimento da química verde no cotidiano acadêmico é notório.

Quando perguntados se haviam observado os princípios da Química Verde explicados sendo executados nos experimentos, todos os visitantes responderam que sim. Esse reconhecimento dos princípios é um legado importante desse primeiro momento, pois corrobora com resultados anteriores e reforça que o Dia Verde dissemina os princípios da QV. Mesmo que limitado à teoria, não tendo tanto impacto na prática profissional dos participantes, essa abordagem se mostra eficiente para promoção da química verde. Esse conhecimento ajudará no desenvolvimento de iniciativas mais eficiente quanto ao objetivo de se alcançar mudanças na formação de profissionais. A última pergunta foi: “Você consegue ver a Química Verde em algum experimento que já tenha feito ao longo de sua vida acadêmica?” 53% dos visitantes responderam que sim e 47% responderam que não. Aqui pudemos observar que o primeiro momento da metodologia impactou metade dos participantes, de modo que eles puderam refletir algum princípio da QV ao longo de suas trajetórias. Em contrapartida, a outra metade dos participantes não conseguiu fazer essa identificação. Algum ponto dessa iniciativa precisa ser revisto de modo a compreender as causas desse resultado, pois os ideais verdes não se aplicam somente à análise de experimentos construídos sob uma perspectiva mais sustentável, também são fundamentais para avaliação de práticas antigas, cotidianamente replicadas.

Alguns alunos que participaram do evento já tinham cursado a disciplina de Química Verde, ofertada no *campus* para alunos da Licenciatura em Química. Esta disciplina optativa é um diferencial perante outros cursos na área de química de outras instituições, pois muitas nem sequer abordam o tema na formação acadêmica de tais profissionais (Almeida *et al.* 2019; Zandonai, 2013).

Por meio da análise de todas as respostas, é possível perceber que quase em sua totalidade, os alunos conseguiram notar a importância da introdução desses conceitos, tanto nas aulas práticas presentes quanto em atividades mais antigas. Todos os experimentos expostos foram incluídos nas disciplinas experimentais dos cursos para que haja a inserção de conceitos de Química Verde na formação acadêmica de diversos alunos e futuros profissionais. Neste primeiro momento, o evento revelou a concepção dos alunos a respeito da filosofia verde no desenvolvimento de novos processos químicos mais limpos, bem como o quanto esses ideais impactam sua prática profissional. O caminho para uma sociedade sustentável se fortalece na medida em que se desenvolvam práticas educativas que, pautadas pelo paradigma da complexidade, aportem para a escola e os ambientes pedagógicos uma atitude reflexiva em torno da problemática ambiental (Jacobi, 2007).

Dentro dos modelos 1 e 2 de inserção da QV para a educação em química, o modelo 1 (o mais simples) se baseia na associação dos princípios da química verde aos experimentos; enquanto o modelo 2 inicia com aplicação das análises do grau de verdura. Podemos observar que os alunos responderam muito bem aos dois modelos, gerando nuances que foram refletidas ao longo da apresentação dos resultados. O conhecimento dos diferentes impactos dessas abordagens à comunidade escolar estudada pode ser interessante para que novas formas de inserção da QV sejam desenvolvidas.

Orientar os cursos de formação de professores de Química para promoção da educação para o desenvolvimento sustentável é um objetivo político amplamente reconhecido (UNESCO, 2005). Há uma necessidade justificável para difundir a QV nesses espaços, uma vez que os profissionais egressos desses cursos são responsáveis por conectar a educação em química à sustentabilidade (Eilks, 2015; Burmeister e Eilks, 2013; Pedrosa, 2010). Sendo assim, o segundo momento do estudo foi desenvolvido junto aos alunos de Licenciatura em Química do *campus*, onde propostas de aula foram trabalhadas, a partir de temas geradores, interligando princípios da QV à conteúdos do currículo mínimo de Química (temas e princípios relatados descritos anteriormente na tabela 1).

A proposta sobre com a temática “gasolina e sua utilização” apontou apenas os princípios levados em consideração no preparo de uma aula experimental, seguindo o

modelo básico de ensino de Química Verde na educação para o desenvolvimento sustentável. A abordagem didática adota princípios da QV e se preocupa apenas em praticar uma química segura e tratar os resíduos. A postura do futuro professor que apresentou a temática é de propor empregar os princípios da QV nas aulas práticas, mencionando e exemplificando esses princípios, porém não encaminha abordagens contextualizadas que envolvam a QV e somente estimula os alunos a colocar em prática alguns dos princípios envolvidos na temática aplicada. Propõe abordagens pontuais sobre a QV com objetivo de divulgar o tema e relaciona o mesmo apenas à experimentação.

Já as propostas sobre “água”, “polímeros” e “fármacos” conseguiram atingir características do modelo intermediário e do modelo mais abrangente, indicando impacto promissor e a necessidade de constante reflexão sobre o papel do professor de Química em um cenário sustentável. Os licenciandos vincularam suas propostas à sustentabilidade, trabalhando problemáticas sociais, econômicas e ambientais em toda a sequência didática da aula. Propuseram que os alunos discutissem na escolha de procedimentos com maior verduza química e inseriram a análise quantitativa de tal verduza dos processos através do cálculo de métricas tanto nas aulas experimentais quanto teóricas (Quadro 1).

Quadro 1: Quadro com as características metodológicas das propostas de aula

Aspecto estudado	TEMA	Característica metodológica
Abordagem didática	Combustíveis	Incorporação dos princípios da QV em apenas procedimentos experimentais e preocupação com gerenciamento de resíduos (modelo 1).
	Água, polímeros e fármacos	Incorporação dos princípios da QV em procedimentos experimentais e teóricos, análise sistemática da verduza dos experimentos propostos, envolvimento dos alunos nas discussões, incorporação de estratégias sustentáveis como conteúdo no currículo de química e debates sobre novas

		tecnologias e abordagem de aspectos controversos (modelos 2 e 3).
Postura do professor	Combustíveis	Conhece os princípios aplicados, menciona e exemplifica aos estudantes a incorporação e benefícios dos conceitos da QV e não houve encaminhamento de abordagens contextualizadas (modelo 1).
	Água, polímeros e fármacos	Compreensão de conceitos de Química através das relações com aplicações tecnológicas nas questões ambientais, aumento da compreensão sobre o impacto e o papel da ciência na sociedade, ênfase do papel da Química nas questões relativas à sustentabilidade (modelos 2 e 3).
O momento e frequência de inserção da QV	Combustíveis	Propõe apenas em disciplinas experimentais e momentos pontuais como palestras e minicursos (modelo 1).
	Água, polímeros e fármacos	Princípios da QV como conteúdos específicos no currículo e incorporados às disciplinas tradicionais ao longo do currículo (modelos 2 e 3).
Quanto aos objetivos educacionais	Combustíveis	Divulgação da QV (modelo 1).
	Água, polímeros e fármacos	Melhorar a percepção social da química através da QV, estimular a prática consciente, intencional e crítica da QV e promover a educação ambiental para a sociedade (modelos 2 e 3).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para finalizar esse momento, um questionário também foi aplicado a esses alunos do ensino superior, a fim de caracterizar a relação desse profissional com os ideais verdes, além do reconhecimento do seu papel enquanto agente de mudança na reorientação da educação para uma química mais sustentável (Figura 5).

Figura 5. Questionário aos alunos da Licenciatura em Química, no segundo momento.

1) Você ouviu falar em Química Verde no Ensino Médio?		
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Talvez	<input type="checkbox"/> Não
2) Os conceitos químicos apresentados foram coesos com os conceitos de Química Verde?		
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Talvez	<input type="checkbox"/> Não
3) Você acha que a Química Verde poderia ser incluída no currículo mínimo?		
<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Talvez	<input type="checkbox"/> Não
4) Como futuro professor de Química, pretende abordar a Química Verde em suas aulas?		
Por quê?		
5) Qual impacto a Química Verde teria se fosse trabalhada no Ensino de Médio? Justifique.		
6) Você vê a Química Verde em outros temas geradores?		
7) Possui sugestões de como inserir a Química Verde no Ensino Médio?		

Fonte: Elaborado pelos autores

Pelas respostas obtidas, nota-se que 72% dos graduandos ao longo do Ensino Médio não ouviram falar em Química Verde. Outros 18% disseram que nunca ouviram e 10% disseram que talvez tenham tido a oportunidade. Esse “talvez” como resposta pode ser atribuído à confusão que os alunos fazem sobre Química Verde e Química Ambiental (Porto *et al.*, 2009). Talvez este aluno esteja em dúvida a respeito desta associação, o que não isenta os mesmos que responderam sim de, possivelmente, terem feito a conexão de forma errada. Identificar essa dualidade entre Química Verde e Química Ambiental em um curso de nível superior indica que um longo caminho precisa ser percorrido para que a QV seja bem definida, para que em seguida seja trabalhada de forma correta.

Quando questionados sobre a coesão dos conceitos químicos com os conceitos de Química Verde presentes nas aulas propostas, 81% responderam que estão coesos e outros 19% disseram que não. Esse resultado sinaliza possíveis fragilidades na abordagem, que precisam ser revistas e/ou melhor trabalhadas. Em seguida, eles foram provocados a respeito da inclusão da Química Verde no currículo mínimo, perguntando se a inserção deveria ocorrer: 100% dos graduandos disseram que sim, por julgarem ser de extrema importância. As situações de ensino e aprendizagem baseadas na discussão de problemáticas sociocientíficas revelam um grande potencial na construção de uma

visão mais real do desenvolvimento da ciência e na promoção da literatura científica, indispensável a uma cidadania responsável (Aguiar, Santana e Matos, 2015; Zandonai *et al.*, 2016). Esses resultados sugerem que, assim como no primeiro momento dessa metodologia, os participantes - majoritariamente - reconhecem a importância de inserção da QV na educação para um futuro mais sustentável.

Como futuros professores de Química, os licenciandos foram questionados sobre adesão à Química Verde em sua prática futura, e nesta pergunta, 99% dos alunos disseram que abordarão os tópicos de Química Verde em suas aulas, quando necessário. Alguns sob a justificativa de contextualizar e formar cidadãos conscientes de seus impactos no Planeta, porém sem deixar de dar o conteúdo da disciplina e, ainda, 1% atribuiu o uso da Química Verde como ferramenta, que auxilia na interdisciplinaridade da Química com outras disciplinas. Aproveitando a reflexão, perguntou-se qual seria o impacto se a Química Verde fosse trabalhada no Ensino Médio e todas as respostas tiveram a palavra conscientizar ou conscientização, ao longo de sua construção, associada aos impactos na natureza ou futuro da humanidade.

Outro ponto analisado foi a visualização de conceitos de Química Verde em outros temas geradores para o currículo mínimo. Na questão a tal respeito, 90% dos alunos disseram que é possível empregar Química Verde, além dos temas apresentados e 2% não justificaram a afirmação. Os outros 8% sugeriram tópicos, como aquecimento global, poluição da natureza e lixo eletrônico, assim, enriquecendo as possibilidades de inserção desta filosofia. Colocando cada licenciando para refletir sua prática, levando em conta sua inserção na disciplina optativa de Química Verde, foram questionados sobre qual a importância desta disciplina na formação inicial de professores. Todos responderam de modo a evidenciar o papel do professor como vetor para transmissão de conhecimento. Portanto, sugerimos que difundir a filosofia verde é um dos caminhos para a construção de uma atividade química limpa.

Ao final do questionário, havia uma pergunta sobre sugestões de ferramentas para a inserção da Química Verde no Ensino Médio. Como futuros professores de química, cada licenciando deve se atentar às diversas formas de desempenhar seu papel no processo de ensino-aprendizagem, a maioria dos alunos sugeriram o uso de metodologias ativas como experimentos e jogos.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA reconhece a Química Verde como uma de suas práticas sustentáveis, oferecendo uma abordagem holística de longo prazo para boa gestão de produtos químicos e resíduos. Por meio de um documento (UNEP, 2021), no qual são designados 10 objetivos e orientações para uma Química verde e sustentável, o programa visa inspirar e orientar partes interessadas em direcionar suas inovações químicas para a sustentabilidade. Entre esses objetivos, o de número 8 orienta a capacitação de trabalhadores para se tornarem condutores da Química Verde e sustentável, garantindo que se beneficiem das inovações relevantes. Nossos resultados sugerem certo alinhamento com tais orientações, sendo que as intervenções propostas serviram para ampla inserção do conhecimento de Química Verde em nossa comunidade escolar.

Após a aplicação do evento chamado “Dia Verde”, os alunos do ensino médio/técnico do campus Duque de Caxias passaram a levantar reflexões sobre sustentabilidade junto aos professores dos cursos de Química e Petróleo Gás, nas disciplinas de Química Geral, Química Orgânica, Físico-Química e Química Analítica. Eles questionaram e sugeriram mudanças em alguns protocolos experimentais que não levavam em consideração a preservação do ambiente e, como resultado, algumas práticas foram adaptadas em laboratórios do nosso campus, atendendo à demanda de uma química mais limpa.

Já os alunos de graduação de Licenciatura em Química, chegaram a sugerir abordar a Química Verde de forma transversal aos conteúdos de aprendizagem e ter sempre que possível, uma perspectiva contextualizada. Essa abordagem, se levada adiante, ajudará a trazer mudanças de paradigmas na química, que historicamente é atribuída a acidentes, perigos e cientistas grisalhos com líquidos borbulhantes. Tornar a química como protagonista em repensar o uso da matéria, levando em consideração a eficiência de suas transformações e a responsabilidade socioambiental de sua geração, sem dúvidas, estimulará gerações em tomadas de decisão cruciais ao desenvolvimento sustentável.

Para mostrar que a inserção da QV tem potencial para promover mudanças na forma de se ensinar Química, nós queríamos mostrar à comunidade local que é possível realizar aulas teóricas e experimentais com um olhar mais apurado ao impacto das escolhas cotidianas. Para esse objetivo, buscamos apresentar à comunidade o que nosso

grupo de pesquisa já tinha feito em prol dessas mudanças, além de incentivar novas abordagens de ensino. Então, promovemos o “Dia Verde” para abranger toda a comunidade. Depois disso, focamos na formação de professores de Química, entendendo esse espaço como o mais promissor para mudanças futuras na relação entre a ciência, tecnologia, sociedade e o ambiente em que vivem. Essa metodologia mostrou que é possível pavimentar caminhos que levam à incorporação da QV na Educação em Química, construindo iniciativas que promovam a contínua reflexão dos profissionais da área em relação às suas atividades, enquanto profissionais e indivíduos da sociedade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No geral, nós trouxemos reflexões sobre a inserção da Química Verde nos ideais da Educação em Química para o desenvolvimento sustentável para entender como essa abordagem seria recebida e transformada em discursos mais conscientes. Em conclusão, pudemos perceber que as duas iniciativas propostas promoveram o primeiro contato da comunidade escolar com a QV e tiveram êxito em conscientizar futuros profissionais da Química. Nossos achados mostram que, tanto no ensino médio-técnico quanto no ensino superior, fomentar debates sobre o esverdeamento das atividades experimentais é fundamental para construção de uma visão mais sustentável. Além disso, trazendo uma perspectiva diferente da experimental, debater a formação de professores de Química parece ser essencial para a QV deixe campo da teoria e se torne uma realidade prática na Educação Básica. Se o ensino médio-técnico do *campus* estudado não vislumbrava a possibilidade de uma prática química mais limpa, em algum momento se revela uma lacuna também na formação de seus professores.

Os temas geradores e as questões-problema demonstram ser metodologias promissoras na correlação entre uma química limpa e o desenvolvimento sustentável nos cursos de Licenciatura em Química. Existem diferentes modelos de inserção da QV a uma educação sustentável que, por sua vez, serão adaptados às mais diversas realidades escolares do país. Portanto, a utilização desta filosofia nas licenciaturas formará profissionais capacitados e conscientes a respeito de seu papel no futuro da sociedade.

Embora a correlação entre Química Verde e a Educação para o Desenvolvimento Sustentável se dê entre três modelos – sendo o modelo 3 o mais eficiente –, entendemos que os modelos 1 e 2 são fundamentais para iniciar a transição entre o atual e o futuro currículo em Química. Atingir um modelo mais avançado não é fácil, exige profissionais capacitados. Nesse sentido, a disciplina optativa em Química Verde, do curso de Licenciatura em Química no IFRJ *campus* Duque de Caxias, tem contribuído com bons resultados. Como perspectiva futura, estudamos integrar essa disciplina às outras disciplinas químicas da grade curricular, buscando maior articulação e transversalidade entre saberes. Os resultados aqui descritos evidenciam que trabalhar a filosofia verde no contexto acadêmico é crucial para a formação de profissionais comprometidos com a sustentabilidade de suas atividades.

Referências

- Aguiar, N.V.V., Sant'ana, A.L., & Matos, A.P. (2015). Aplicação de conceitos da Química Verde em uma atividade curricular de integração ensino, pesquisa e extensão: Relato de experiência a partir da UFSCar (campus Lagoa do Sino). *Revista Brasileira de Ensino de Química*, v. 10, n. 2, p. 89-94.
- Almeida, Q. A. R., & Silva, G. A. L. (2019). Química verde em métodos sintéticos: aplicação de novas metodologias experimentais na formação de professores de química. *Experiências em Ensino de Ciências*, v.14, n.3, p. 289-304.
- Almeida, Q.A.R., Silva, B.B., Silva, G. A. L., Gomes, S.S., & Gomes, T.N.C. (2019). Química Verde nos cursos de Licenciatura em Química do Brasil: mapeamento e importância na prática docente. *Amazônia Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, v.15, n.34, p. 178-187.
- Anastas, P. T.; Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: theory and practice*. New York: Oxford University Press.
- 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*, e25960, p1-22, 2021.
- Burmeister, M.; Rauch, F.; Eilks, I. Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 13, n. 2, p. 59-68, 2012.
- Burmeister, M.; Eilks, I. Using participatory action research to develop a course module on education for sustainable development in pre-service chemistry teacher education. *CEPS journal*, v. 3, n. 1, p. 59-78, 2013.

Chassot, A. (1990). *A Educação no Ensino de Química*. Ijuí: Unijuí.

Conard, C. R., & Dolliver, M. A. (1932). *Organic Syntheses Coll.*, v. 2, n. 12, p. 22.

Eilks, I. Science education and education for sustainable development—justifications, models, practices and perspectives. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, v. 11, n. 1, p. 149-158, 2015.

Escher, B. I.; Stapleton, H. M.; Schymanski, E. L. Tracking complex mixtures of chemicals in our changing environment. *Science*, v. 367, n. 6476, p. 388-392, 2020.

Farias, S. A.; Ferreira, L. H. Diferentes olhares acerca dos conhecimentos necessários na formação inicial do professor de Química. *Química Nova*, v. 35, p. 844-850, 2012.

Figueiredo, M. C.; Rodrigues, M. A. A abordagem CTSA na Licenciatura em Química: caminhos para uma alfabetização cidadã. *Revista Amazônica de Ensino de Ciências*, v. 7, n. 13, p. 181-192, 2017.

Fonseca, S. F. E.; Gonçalves, C. C.S. Extração e separação de pigmentos do espinafre e separação em coluna de açúcar comercial. *Química Nova na Escola*, v. 20, p. 55-58, 2004.

Franchetti, S. M. M.; Marconato, J. C. Polímeros biodegradáveis: uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. *Química Nova*, v. 29, n. 4, p. 811-816, 2006.

Garcia, G.; Cardoso, A. A.; Santos, O. A. M. Da escassez ao estresse do planeta: um século de mudanças no ciclo do nitrogênio. *Química Nova*, v. 36, n. 9, p. 1468-1476, 2013.

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

Lernardão, E. J., Freita, G, R. A., Dabdoub, M. J., Batista, A. C. F., & Silveira, C. Da C. (2003). Green chemistry: os doze princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. *Química Nova*, v. 26, n. 1, p. 123-129.

Lüdke, M; André, M. E. D. A. Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas. São Paulo: EPU, 1986.

Machado, A. A. S. C. Holistic Green Chemistry Metrics for use in Teaching Laboratories. In: Mammino, L.; Zuin, V. G. (Eds.). *Worldwide Trends in Green Chemistry Education*. Royal Society of Chemistry: London, p. 16-26, 2015.

Machado, A.A.S.C. Introdução às Métricas da Química Verde: uma visão sistêmica. Florianópolis: Edufsc, 2014.

Mansilla, D. S.; Muscia, G. C.; Ugliarolo, E. A. Una fundamentación para la incorporación de la química verde en los currículos de química orgánica. *Educación química*, v. 25, n. 1, p. 56-59, 2014.

Marchetti, J. M.; Miguel, V. U.; Errazu, A. F. (2007). Possible methods for biodiesel production. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, v. 11, p.1300-1311, 2007.

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.

Mól, G. S. Pesquisa qualitativa em ensino de química. *Revista Pesquisa Qualitativa*, v. 5, n. 9, p. 495-513, 2017.

Moreno, R. A. F.; Carlosama, L. Y. O. El enfoque de química verde en la investigación en didáctica de las ciencias experimentales. Su abordaje en revistas iberoamericanas: 2002-2018. *Educación química*, v. 31, n. 1, p. 84-104, 2020.

ONU. Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acessada em maio de 2022.

Pedrosa, M. A. Ciências, educação científica e formação de professores para desenvolvimento sustentável. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, v. 7, p. 346-362, 2010.

Porto, P. A.; Corio, P.; Maximiano, F.A.; Fernandez, C. Química Ambiental e Química Verde no conjunto do conhecimento químico: Concepções de alunos de graduação em Química da Universidade de São Paulo. *Educación Química*, v. 20, n. 4, p. 398-404, 2009.

Rauch, F. Education for Sustainable Development and Chemistry Education. In: Mammino, L.; Zuin, V. G. (Eds.). *Worldwide Trends in Green Chemistry Education*. Royal Society of Chemistry, p. 16-26, 2015.

Ribeiro, M. G. T. C.; COSTA, D.A.; MACHADO, A. A. S. C. Uma métrica gráfica para avaliação holística da veracidade de reações laboratoriais. *Química Nova*, v.33, p. 759-764, 2010.

Romeiro, A. R. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. *Estudos avançados*, v. 26, p. 65-92, 2012.

Sandri, M. C. M.; Filho, O. S. Implicação da inserção da Química Verde na formação inicial de professores de química. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, v. 11, n. 1, p. 111-123, 2016.

Sandri, M.C.M.; Filho, O.S. Os modelos de abordagem da Química Verde no ensino de química. *Educación Química*, v.30, n.4, p. 34-46, 2019.

Serrano, M. C. D.; Ruvalcaba, R. M. Química verde: Un tema de presente y futuro para la educación de la química. *Educación química*, v. 24, p. 94-95, 2013. – (Serrano e Ruvalcaba, 2013)

UNEP. Advancing the 10 objectives and guiding considerations for green and sustainable chemistry, 2021. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/37340/AOGCGSC.pdf?sequence=3&isAllowed=y>, Acessada em maio de 2022. – (UNEP, 2021)

UNESCO. Guidelines and recommendations for reorienting teacher education to address sustainability, 2005. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000143370>, Acessada em 22 de Maio de 2022.

Vasconcelos, E. R.; Freitas, N. M. S. O paradigma da sustentabilidade e a abordagem CTS: mediações para o ensino de ciências. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, v. 9, n. 17, p. 89-108, 2012.

Virges, C. S.; Lira, T. S.; Carmo, I. P.; Melo, M. S. Caminhão da ciência: uma análise dos experimentos de química desenvolvidos em um projeto de divulgação científica. *Scientia Naturalis*, v. 3, n. 4, 2021.

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, 2016.

Zandonai, D.P. A inserção da química verde no curso de licenciatura em química do dq-ufscar: um estudo de caso. Dissertação (Mestrado profissional) – Universidade Federal de São Carlos, 2013.

Zimmerman, J. B; Anastas, P. T.; Erythropel, H. C.; Leitner, W. Designing for a green chemistry future. *Science*, v. 367, n. 6476, p. 397-400, 2020.

Zuin, V. G.; Eilks, I.; Elshami, M.; Kümmerer, K. Education in green chemistry and in sustainable chemistry: perspectives towards sustainability. *Green Chemistry*, v. 23, n. 4, p. 1594-1608, 2021.

Zuin, V. G.; Marques, C. A. Green Chemistry in Brazil: Contemporary Tendencies. In: Mammino, L.; Zuin, V. G. (Eds.). *Worldwide Trends in Green Chemistry Education*. Londres: Royal Society of Chemistry, 2015.

Submetido em: 21/09/2022 **Aceito em:** 03/06/2023 **Publicado em:** 11/11/2023