

GLOSSÁRIO DA TABELA PERIÓDICA DOS ELEMENTOS FIGURATIVOS DA QUÍMICA VERDE E SUSTENTÁVEL (TPQVS)

Carlos Eduardo Nicioli¹; Jaelson Marques Martins²; Carlos Alberto da Silva Júnior³

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), campus Sousa, Paraíba, Brasil.

¹*carlos.eduardo@academico.ifpb.edu.br* ²*jaelson.martins@academico.ifpb.edu.br*

³*carlos.alberto@ifpb.edu.br*

Palavras-Chave: Educação Ambiental; Química Verde; Sustentabilidade.

Introdução

A Química Verde é definida como o desenvolvimento e a aplicação de produtos e processos químicos destinados a reduzir ou eliminar o uso e a geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao meio ambiente (ANASTAS; WARNER, 2000). Essa filosofia benigna (SOUSA et al., 2020) está intrinsecamente ligada à sustentabilidade, pois visa minimizar o uso de materiais tóxicos e o desperdício de matérias-primas (LENARDÃO et al., 2003; RAMOS, 2009; MARCELINO; MARQUES, 2023). Neste contexto, os 12 princípios da Química Verde estabelecem diretrizes que promovem práticas mais sustentáveis (ANASTAS; WARNER, 2000; SOUSA et al., 2020). Além disso, com o tempo, a Química Verde expandiu seu foco para incluir questões sociais, que podem abranger discussões políticas e científicas em uma perspectiva multidisciplinar.

Em 2019, o casal de pesquisadores Paul T. Anastas e Julie B. Zimmerman criaram a Tabela Periódica dos Elementos Figurativos da Química Verde e Sustentável (TPQVS), em celebração aos 150 anos da publicação da primeira Tabela Periódica dos Elementos Químicos (TPEQ) por Dmitri Mendeleev, ocorrida em 1869 (ANASTAS; ZIMMERMAN, 2019). De acordo com Da Silva Júnior et al. (2022), a TPQVS é um recurso didático interdisciplinar que abrange ações científicas, éticas, políticas, humanas e sociais, com foco na sustentabilidade. A TPQVS inclui todos os doze princípios propostos por Anastas e Warner (2000). Embora compartilhe 32 símbolos com a TPEQ, esses símbolos na TPQVS representam conceitos distintos, não elementos químicos, mas sim elementos figurativos que metaforicamente descrevem ações científicas, políticas e sociais voltadas para a sustentabilidade (DA SILVA JÚNIOR et al., 2022; 2023).

Reconhecendo as possibilidades inovativas da Química Verde e considerando que sua maior compreensão pode trazer contribuições significativas em direção a uma perspectiva mais sustentável, torna-se fundamental pensar em estratégias para a maior divulgação da TPQVS (DA SILVA JÚNIOR et al. 2023; 2024). Nesse sentido, a Educação Ambiental, de acordo com Dias (1994), se caracteriza por incorporar as dimensões sociais, políticas, econômicas, culturais, ecológicas e éticas, o que significa que ao tratar de qualquer problema ambiental, deve-se considerar todas as suas dimensões. Diante do impacto científico que a TPQVS pode trazer, é necessário que cada um dos seus 90 elementos figurativos seja explicado na forma de um glossário, garantindo assim que eles possam auxiliar pesquisadores em futuras pesquisas na área.

A criação de um glossário apresenta o desafio de selecionar termos que sejam claros e acessíveis para todos os usuários, evitando o uso de jargões excessivamente técnicos ou

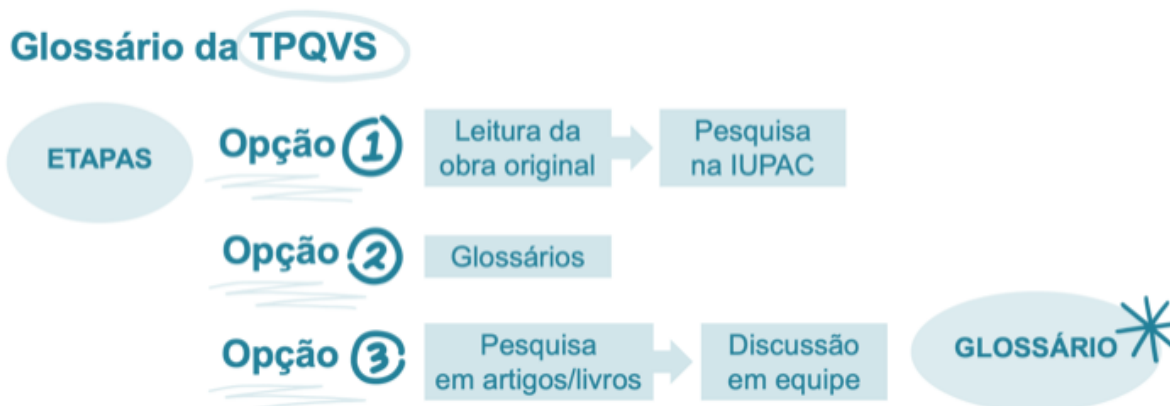
linguagem excludente. De acordo com Da Silva Júnior et al. (2024), este desafio é acentuado pela novidade da TPQVS no campo da Química, com poucos estudos sobre a sua utilização disponíveis na literatura (DA SILVA JÚNIOR et al., 2023; 2024). Neste cenário, a existência de um glossário é útil tanto para especialistas quanto para o público em geral. Contudo, esse processo de elaboração, em língua portuguesa, demanda uma abordagem colaborativa e inclusiva, assegurando que diferentes perspectivas sejam consideradas e que os termos escolhidos sejam representativos e relevantes.

Este trabalho apresenta a criação de um glossário da TPQVS, com o objetivo de fornecer informações sobre cada um de seus 90 elementos figurativos, utilizando uma linguagem clara e elucidativa, para oferecer ao público em geral uma forma alternativa de conhecimento sobre e para a Química Verde.

Material e Métodos

A presente pesquisa é de caráter qualitativo documental (MOL, 2017). Na Figura 1, foram ilustradas as etapas seguidas para a criação do glossário. Vale ressaltar que esse esquema metodológico foi executado para todos os 90 elementos figurativos da TPQVS.

Figura 1: Etapas para a criação do glossário da TPQVS.



Fonte: Autoria própria (2024)

Na opção 1, foi realizada a leitura da obra original em língua inglesa sobre a TPQVS (ANASTAS, ZIMMERMAN, 2019), seguida pela consulta ao *Compendium of Chemical Terminology* da União Internacional de Química Pura e Aplicada (do inglês: *International Union of Pure and Applied Chemistry*, IUPAC) para encontrar o conceito do elemento figurativo.

Caso uma definição fosse identificada, esta seria escolhida para o glossário. Em caso negativo, a opção 2 foi adotada, envolvendo a pesquisa do conceito do elemento figurativo em outros glossários já existentes. Se não fosse possível encontrar uma definição em glossários pré-existentes, a opção 3 seria acionada, a qual consiste na pesquisa em artigos científicos e livros sobre o elemento figurativo.

Resultados e Discussão

A construção do glossário, conforme o critério metodológico estabelecido, revelou-se promissora para a definição de termos claros e objetivos para cada um dos 90 elementos figurativos da TPQVS. Destacamos que assim como a Tabela Periódica dos Elementos Químicos (TPEQ) está organizada em blocos, a TPQVS também é estruturada em blocos, embora com significados distintos. Os blocos da TPQVS são: Elementos Humanitários, Elementos da Química Verde e Engenharia Verde, Elementos de Habilitação das Condições de Sistema. Cada elemento figurativo é identificado pelo seu nome, símbolo e número. Contudo, é importante notar que, ao contrário da TPEQ, os números na TPQVS não têm significados científicos específicos, como os números atômicos dos elementos químicos.

Ressaltamos que os elementos na TPQVS não correspondem aos elementos químicos da TPEQ. Em vez disso, os elementos figurativos propostos por Anastas e Zimmerman (2019) consistem, em sua maioria, em diretrizes de natureza social, econômica, política, moral ou ética. A consulta à obra original de Anastas e Zimmerman (2019) para entender o significado de cada elemento figurativo apresentou desafios devido ao uso de linguagem técnica e termos pouco usuais. O glossário foi desenvolvido para facilitar a compreensão clara desses elementos. Por exemplo, o elemento figurativo intitulado de “química para o bem-estar”, representado pelo símbolo “Cw”, pode levar o leitor a refletir sobre os benefícios que a Química proporciona e a quem ou ao que esse bem-estar se destina. Segundo o glossário, este elemento figurativo refere-se ao uso da Química para melhorar a qualidade de vida, abrangendo saúde, produção de medicamentos e alimentos.

No bloco dos elementos da Química Verde e Engenharia Verde, os conceitos foram também apresentados de forma objetiva. Este bloco apresenta um aspecto muito interessante, que é a sua correspondência direta aos 12 princípios da Química Verde (ANASTAS, WARNER; 2000), funcionando como uma introdução aos pressupostos facilitadores das estratégias verdes (DA SILVA JUNIOR et al., 2022). Os 40 elementos figurativos deste bloco foram definidos seguindo a metodologia aplicada, para facilitar a compreensão do leitor. Por exemplo, o elemento figurativo “enzimas”, cujo símbolo é a letra “E”, foi definido como sendo macromoléculas, principalmente de natureza proteica, que funcionam como biocatalisadores aumentando a taxa de reação.

No bloco dos Elementos de Habilitação das Condições do Sistema, foram identificados 30 elementos figurativos, divididos em cinco grupos: estruturas conceituais, economia e forças de mercado, métricas, políticas e regulamentos, e ferramentas (DA SILVA JUNIOR et al., 2022). Os conceitos para os elementos deste bloco apresentaram um nível de complexidade superior devido à sua relação com questões não usuais na literatura nacional. Esse grau de complexidade demandou uma pesquisa mais aprofundada na literatura sobre os termos. Contudo, outros elementos já tinham resultados difundidos nacionalmente. Por exemplo, o elemento figurativo “fator ambiental”, simbolizado por “Ef”, foi definido como uma métrica verde que relaciona a massa do produto desejado com a massa total do resíduo gerado.

O último bloco da TPQVS, denominado de Elementos Nobres, é formado pelo grupo intitulado de objetivos nobres (DA SILVA JÚNIOR et al., 2022). Este bloco é o menor da TPQVS, contendo apenas sete elementos figurativos. O elemento representado pelo símbolo “K” aborda a responsabilidade associada ao conhecimento químico extraordinário, exemplificando a abordagem filosófica característica desse bloco. Explicou-se que o conceito

para esse elemento figurativo, por exemplo, se refere ao uso responsável do conhecimento químico para criar produtos não tóxicos, promovendo práticas sustentáveis em atividades diárias, laboratoriais e industriais.

Em resumo, o glossário facilitou significativamente o entendimento de cada elemento figurativo da TPQVS, utilizando uma linguagem clara e objetiva para promover, numa perspectiva sistêmica, uma melhor compreensão desse novo recurso didático e interdisciplinar. À medida que o desenvolvimento dessa ferramenta enciclopédica avançava, destacamos que o entendimento do grupo de pesquisa sobre a TPQVS se aperfeiçoava. Cada fonte de referência consultada e cada elemento figurativo analisado contribuíram para o enriquecimento contínuo do conhecimento dos autores dessa publicação.

Conclusões

A criação deste glossário em língua portuguesa contribui significativamente para a divulgação nacional da TPQVS, oferecendo suporte a novas pesquisas em diversas áreas, como Educação Ambiental, Engenharias e Políticas Sociais. A TPQVS, como um instrumento multidisciplinar, pode auxiliar professores no ensino crítico de seus estudantes e na conscientização sobre questões ambientais e práticas de preservação. Além disso, os conceitos dos elementos figurativos podem ser aplicados nos setores industriais, prevenindo a formação de subprodutos indesejados e o desperdício de matéria-prima, com o objetivo de oferecer o melhor conteúdo ao consumidor. Defendemos que uma abordagem sistêmica da TPQVS permitirá a sua utilização de forma mais holística, crítica e reflexiva. Como perspectivas, haverá futuramente a divulgação gratuita e virtual deste glossário, tornando o seu conteúdo acessível a qualquer pessoa interessada e promovendo um entendimento mais amplo e inclusivo dos princípios da Química Verde.

Agradecimentos

Ao IFPB, ao Green Maker Lab - Grupo de Pesquisa e Inovação em Química Verde e à FAPESQ pelas bolsas de Iniciação Científica concedidas aos estudantes pesquisadores C.E.N e J.M.M.

Referências

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green Chemistry: Theory and Practice**. New York: Oxford University Press, 2000.

ANASTAS, P. T.; ZIMMERMAN, J. B. **The Periodic Table of the Elements of Green and Sustainable Chemistry**. 1ª ed., Madison: Press Zero, 2019.

DA SILVA JÚNIOR, C. A. et al. Química Verde e a Tabela Periódica de Anastas e Zimmerman: Tradução e Alinhamentos com o Desenvolvimento Sustentável. **Química Nova**, v. 45, n. 8, p. 1010–1019, 2022. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170893>

DA SILVA JÚNIOR, C. A. et al. Challenges and successes: online and inclusive teaching of green chemistry in Brazil in the time of Covid-19. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 10, n. 12, p. 106–118, 2022. <https://doi.org/10.31686/ijer.vol10.iss12.4012>

DA SILVA JÚNIOR, C. A. et al. A Tabela Periódica da Química Verde e Sustentável na Perspectiva da Formação de Professores de Química: O que, como e por que ensinar? *In*: SANDRI, M. C. M. et al. **Química Verde**:

Propostas, Experiências de Ensino e Reflexões para a Formação de Professores. Ponta Grossa: Texto e Contexto, 2023. p. 97–127.

DA SILVA JÚNIOR, C. A. et al. Tabela Periódica dos Elementos Figurativos da Química Verde e Sustentável (TPQVS): Tradução para a língua portuguesa do Brasil. Em: Anais do(a) Anais do 21 Encontro Nacional de Ensino de Química, 8., 2023, Recife, Brasil. [...]. Recife, Brasil: Even3, 2023. <https://doi.org/10.29327/1290523.1-26>

DA SILVA JÚNIOR, C. A. et al. The Role of the Periodic Table of the Elements of Green and Sustainable Chemistry in a High School Educational Context. **Sustainability**, v. 16, n. 6, p. 2504, 2024. <https://doi.org/10.3390/su16062504>

DIAS, G. F. **Educação ambiental: princípios e práticas.** Rio de Janeiro: Editora Gaia, 1992.

LENARDÃO, E. J. et al. “Green chemistry” - Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v. 26, n. 1, p. 123–129, 2003.

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

MOL, G. S. Pesquisa Qualitativa em Ensino de Química. **Revista Pesquisa Qualitativa**, v. 5, n. 9, p. 495–513, 2017. <https://editora.sepq.org.br/rpq/article/view/140>

RAMOS, M. A. F. A. C. Química Verde - potencialidades e dificuldades da sua introdução no ensino básico e secundário, Departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2009.

SOUSA, A. C. et al. **Química Verde para a Sustentabilidade: natureza, objetivos e aplicação prática.** 1ª ed. Curitiba: Appris, 2020.

VELOZO, M. C. S. et al. An inclusive approach to incorporating green chemistry in a post-pandemic world. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 10, n. 12, p. 140–153, 2022. <https://doi.org/10.31686/ijer.vol10.iss12.4017>

VELOZO, M. C. S. et al. Creation and Validation of Bilingual Educational Videos about Environmental Education, Green Chemistry and Sustainable Development Goals for Deaf People in Brazil. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 11, n. 1, p. 46–62, 2023. <https://doi.org/10.31686/ijer.vol11.iss1.4043>