



## Estrela e matriz verde em testes de solubilidade: potencialidades para o Ensino de Química

Juliana Aparecida Bolzan<sup>1</sup>; Candida Alissia Brandl<sup>2</sup>; Marilei Casturina Mendes Sandri<sup>3</sup>; Sandra Inês Adams Angnes Gomes<sup>2</sup>

Universidade Federal de Santa Catarina

<sup>2</sup> Instituto Federal do Paraná

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Ponta Grossa

email do autor(a) correspondente: julianabolzann03@gmail.com

### Palavras-chave

protocolos  
experimentais;  
química verde;  
Ensino de Química.

### Keywords

experimental  
protocols;  
green chemistry;  
chemistry teaching.

**Resumo:** As atividades químicas são historicamente apontadas como vilãs nos processos de degradação e poluição ambiental. Diante disso, a Química Verde surgiu como uma corrente que se opõe às ações poluidoras e busca desenvolver processos e produtos que reduzam ou eliminem o uso e a geração de substâncias nocivas à saúde e ao ambiente. Para que essa filosofia passe a integrar todas as dimensões das atividades químicas, torna-se importante inserir essa temática na formação de profissionais no ramo da Química. Tendo isso em vista, este trabalho procura tratar das potencialidades das métricas de verdura química, notadamente as holísticas Matriz Verde e Estrela Verde, aplicadas a testes de solubilidade como proposta para a inserção da Química Verde no Ensino de Química. Os resultados experimentais da Estrela Verde e Matriz Verde ajudaram identificar os pontos fortes e os pontos fracos dos experimentos com base nos princípios da Química Verde bem como vislumbrar oportunidades para melhorarias, como redução e substituição de reagentes nocivos à saúde e ao ambiente por substâncias mais verdes. A avaliação é profícua para ser aplicada no ensino de Química com vistas a desenvolver o senso crítico de profissionais da Química no que tange à procedimentos mais limpos e menos impactantes.

**Abstract:** Chemical activities are historically pointed out as villains in environmental degradation and pollution processes. Given this, Green Chemistry emerged as a current that opposes polluting actions and seeks to develop processes and products that reduce or eliminate the use and generation of harmful substances to health and the environment. In order for this philosophy to integrate all dimensions of chemical activities, it is important to include this theme in the training of professionals in the field of Chemistry. With this in mind, this work seeks to deal with the potentialities of chemical vegetable metrics, notably the holistic Green Matrix and Green Star, applied to solubility tests as a proposal for the insertion of Green Chemistry in Chemistry Teaching. The experimental results of the Green Star and Green Matrix helped identify the experiments' strengths and weaknesses based on the principles of Green Chemistry and envision opportunities for improvements, such as reducing and replacing reagents harmful to health and the environment with greener substances. The evaluation is fruitful to be applied in the teaching of Chemistry to develop the critical sense of Chemistry professionals about cleaner and less impactful procedures.



10.25061/2527-2675/ReBraM/2026.v29i2.2567

## Introdução

No contexto histórico-econômico, a Química Verde (QV) surge após a consolidação do processo de Revolução Industrial no século XX, em que as indústrias passaram a produzir em larga escala, seguida da produção exacerbada de produtos químicos para suprir necessidades mundiais, consequentemente, com uma grande geração de resíduos e impactos ambientais. Não havia até então uma filosofia voltada aos impactos que essa intensa dispersão de poluentes e resíduos causaria ao homem e ao meio ambiente ao longo do tempo. Nesse sentido, diante das pressões das crises ambientais, a QV surgiu em resposta à crise ambiental e pode ser encarada como uma nova perspectiva de enfrentamento, nos campos acadêmicos, industriais, educativos ou aos problemas socioambientais ocasionados pelos avanços científico-tecnológicos associados à Química (Machado, 2011).

A proposta da utilização de alternativas mais sustentáveis partiu do programa "Rotas Sintéticas Alternativas para a Prevenção de Poluição" pela *Environmental Protection Agency* (EPA), pelos pesquisadores e químicos Paul Anastas e John Warner (Gomes et al., 2018). Em 1998, Anastas e Warner definiram a Química Verde como sendo, o desenho, 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, que deu origem aos 12 princípios norteadores da QV, elencados a seguir: 1) Prevenção; 2) Economia de Átomos; 3) Síntese de Produtos Menos Perigosos; 4) Desenvolvimento de Produtos Seguros; 5) Solventes e Auxiliares mais seguros; 6) Busca pela Eficiência de Energia; 7) Uso de Fontes Renováveis de Matéria-Prima; 8) Evitar formação de Derivados; 9) Catálise; 10) Produtos Degradáveis; 11) Análise em Tempo Real para a Prevenção da Poluição; 12) Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes (Acs, 2024); 12 Principles of Green Chemistry - American Chemical Society - [acs.org](https://www.acs.org)).

Portanto, os desafios da QV estão pautados basicamente em reduzir a poluição e eliminar, sempre que possível, processos químicos prejudiciais à saúde e ao meio ambiente; substituir processos onerosos por alternativas mais sustentáveis, recicláveis ou não persistentes; implementar métodos sintéticos que minimizem toxicidade, uso de energia e reagentes; por exemplo.

Uma das principais ações no desfecho da problemática do impacto ambiental causado por atividades químicas, é o tratamento adequado do resíduo gerado (Lenardão, 2003). No Brasil, os resíduos sólidos são abordados na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que regulamenta o uso e o descarte de resíduos industriais e de outras grandes geradoras, a exemplo das universidades (Brasil, 2010) concomitantemente, foram adotadas medidas de conscientização, relacionadas às práticas que visem ao melhor aproveitamento dos recursos naturais, à minimização do desperdício e à reutilização dos resíduos. Ou seja, os princípios da QV vão ao encontro do desenvolvimento de tecnologias e processos que minimizam ou eliminam o impacto ambiental, adaptada no meio acadêmico, governamental e industrial, no sentido de atingir processos mais limpos (Sandri; Gomes; Bolzan, 2018).

No Brasil, a QV começou a ser difundida no decorrer da primeira década deste século, tendo como marco importante a primeira Escola de verão em Química Verde realizada pela primeira vez em 2007 pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo. No meio aca-

dêmico a inserção da QV vem crescendo nas últimas duas décadas, e o Brasil se destaca entre os países da América Latina quanto à pesquisa em QV (Zuin et al., 2020). No tocante ao ensino de QV verifica-se um avanço significativo a partir do ano de 2012, com o aumento da publicação de propostas didáticas e relatos de experiência que buscam levar a QV à sala de aula, notadamente no Ensino Superior (Sandri et al., 2025). Em se tratando da Educação Básica, vale destacar a recente incorporação curricular da QV como conteúdo ou objetivo de ensino nos currículos dos Estados de Santa Catarina e Paraná (Paraná, 2021; Santa Catarina, 2020).

Roloff (2016), considera a QV como uma forma de solucionar problemas ambientais e econômicos e por isso salienta a importância da inserção de seus princípios e/ou propostas de atividades em conteúdo programático no ensino, a fim de promover discussões voltadas a situações sócio científicas para a prevenção de tais problemas.

Em vias de aplicação da QV no ensino de Química, o emprego de métricas de verdura para análise de experimentos *a priori* e *a posteriori* tem se mostrado de grande potencial (Machado, 2015), tendo em conta o importante papel que a experimentação cumpre na formação de profissionais da Química. Neste contexto, destacamos as métricas holísticas Matriz Verde (MV) e Estrela Verde (EV).

### **Métricas de Verdura Química**

A verdura química<sup>1</sup> é um conceito difuso, mas Machado (2014), considera que a obtenção de verdura química consiste na eliminação de impactos deletérios no fabrico, uso e descarte dos produtos químicos, ou seja, no aumento de sua benignidade intrínseca. De forma mais pragmática, pode-se dizer que a verdura química de uma reação ou processo químico está relacionada ao cumprimento dos princípios da QV. Assim, quanto mais princípios forem atendidos, mais verde será o procedimento em questão. A verdura química deve ser avaliada por meio de métricas adequadas (Machado, 2014a). Além do mais, é preciso saber que a VQ “funciona como uma meta a ser perseguida com incisividade, mas que raramente pode ser atingida por completo (Machado, 2014, p. 51).”

A partir da identificação dos pontos de baixa verdura, ou seja, aqueles que se distanciam dos objetivos previstos, torna-se possível a elaboração de estratégias de intervenção que podem vir melhorar a verdura química global. Dentre as métricas de verdura químicas estão as métricas de massa, ambientais, energéticas e holísticas, sendo que estas últimas se destacam por proporcionarem visões globalizantes, incorporando a análise do máximo possível de princípios da QV e tornando-se multidimensionais porque consideram aspectos mássicos, energéticos e ambientais. Dentre essas métricas estão a Estrela e a Matriz Verde.

As referidas métricas podem avaliar experiências de síntese (obtenção de substâncias por meio de reações químicas) e/ou sem síntese (ex., análise, purificação). Para tanto consideram 10 (dez) dos 12 (doze) princípios da QV, excetuando o princípio quatro (P4), que

---

<sup>1</sup> Na literatura são encontrados os termos equivalentes “verdura” (Machado, 2014); “grau verde” (Tasso, 2018) e *greenness* (Dicks, 2018).

trata do desenvolvimento de produtos mais seguros e o princípio onze (P11), que trata de análise em tempo real (Machado, 2014). Essa exclusão é necessária devido às suas limitações para avaliação em contexto experimental. Sendo assim, a avaliação se dá a partir de dez princípios para experimentos de sínteses (P=princípio), (P1, P2, P3, P5, P6, P7, P8, P9, P10 e P12); ou seis princípios para experimentos sem síntese (P1, P5, P6, P7, P10 e P12).

Anteriormente à avaliação e cada princípio, todos os reagentes envolvidos são inventariados, coletando-se informações acerca dos perigos físicos, à saúde e ao ambiente que cada um deles representa, bem como sua degradabilidade e renovabilidade. Além disso, avaliam-se previamente quais serão os resíduos gerados e as condições de execução, como pressão e temperatura de realização dos procedimentos e a necessidade de substâncias que atuam no processo como auxiliares. Essas informações são feitas a partir de uma pesquisa cautelosa nas Fichas de Dados de Segurança (FDS), disponíveis gratuitamente em plataformas como a Merck e disponibilizadas na plataforma <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura> (Ribeiro; Machado, 2008), da Universidade do Porto, Portugal.

A MV é uma métrica baseada na análise *SWOT*, para avaliar o cumprimento de alguns critérios previamente definidos, relacionando-os com as atividades experimentais que se pretende desenvolver. O termo *SWOT* resulta das iniciais S (*Strenghts* – pontos fortes), W (*Weaknesses* – pontos fracos), O (*Opportunities* – oportunidades) e T (*Threats* – ameaças). A partir da MV, pela análise interna do experimento, identificam-se os pontos fortes e fracos, e posteriormente, na análise externa, as oportunidades e ameaças presentes no protocolo em estudo. Os resultados são apresentados em quadros designados matrizes *SWOT* (designadas aqui por Matrizes Verdes) (Ribeiro; Machado, 2012; Machado, 2014).

De acordo com Pires, Ribeiro e Machado (2018), a EV é uma métrica holística da verdura química, de natureza gráfica, que cobre todos os princípios da QV aplicáveis em experiências, operações, sínteses, entre outros estudos, permitindo comparações visuais fáceis da verdura. A métrica é constituída por uma estrela de tantas pontas quantos os Princípios da QV em jogo no problema em análise, e em que o comprimento de cada ponta é tanto maior quanto melhor for o cumprimento do respectivo princípio, de modo que a área da estrela é tanto maior quanto maior for a verdura global do processo químico em estudo em <http://pedagogiaquimicaverde.fc.up.pt/> (Ribeiro; Machado, 2008).

Considerando que o uso conjunto das métricas EV e MV podem contribuir para que os estudantes conheçam com afinco o objeto de estudo; potenciais riscos da prática; a importância da prevenção a acidentes e previsão de oportunidades para melhorar a verdura do processo, este trabalho tem como objetivo explorar a análise de verdura química de um experimento de solubilidade para contribuir com a formação de profissionais propensos a refletir sobre suas atividades químicas, notadamente sob a perspectiva da Química Verde.

## Metodologia

### Protocolo experimental de solubilidade

O experimento analisado neste trabalho foi o teste de solubilidade, empregado nas aulas experimentais de Química Orgânica e realizado no curso de Licenciatura em Química do IFPR. Neste estudo, foram utilizados os solventes: hexano, etanol, éter etílico, acetato de etila e água; e os solutos: ácido benzoico (1),  $\beta$ -naftol (2), ureia (3), difenilamina (4) e tiosulfato de sódio 5). O procedimento experimental consiste em enumerar cinco tubos de ensaio e colocar em cada tubo cerca de 3 mL dos solventes especificados anteriormente. Na sequência, adicionar em cada tubo cerca de 100 mg (uma ponta de espátula) do soluto especificado como s.X (X sendo 1, 2, 3, 4 e 5). Observar a solubilidade de cada composto nos solventes à temperatura ambiente e anotar o resultado, sendo (+) para solúvel a frio; (-) para insolúvel a quente; (-+) para insolúvel a frio e solúvel a quente. Quando não houver solubilização a frio, deve-se levar o tubo ao banho-maria para observar possíveis mudanças de solubilidade com o aumento de temperatura.

### Métricas holísticas de verdura: Matriz Verde e Estrela verde

Para avaliação da verdura química por meio de métricas holísticas (EV e MV) faz-se necessário: a) inventariar todos os reagentes utilizados no experimento e levantar os perigos de cada substância junto as FDS (Machado, 2014; Sandri; Santin Filho, 2017; Sandri; Gomes; Bolzan, 2018; Stadler; Gomes, 2023). Como se trata de um procedimento sem síntese, os princípios considerados em ambas as métricas (EV e MV) foram P1 (prevenção), P5 (Solventes e Auxiliares mais seguros), P6 (Busca pela Eficiência de Energia), P7 (Uso de Fontes Renováveis de Matéria-Prima), P10 (Produtos Degradáveis) e P12 (Química Intrinsecamente Segura para a Prevenção de Acidentes).

### Estrela Verde (EV)

A EV é uma métrica holística calculada automaticamente através do registo de dados do protocolo experimental da plataforma online "Educa", disponível em <http://educa.fc.up.pt/pedagogiadaquimicaverde> ou por planilhas do Excel disponível no mesmo site. Ao alimentar a plataforma, leva-se em consideração o tipo de experiência (com ou sem síntese), registo dos reagentes acompanhado dos riscos ou advertências (códigos FDS), associados a critérios para classificar os perigos das substâncias conforme o Sistema Mundial Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS), regulamento (EC) N°1272/2008 em que: GHS 3 - perigo elevado; GHS 2 - perigo moderado; GHS 1- perigo baixo (Ribeiro; Machado, 2008; Ribeiro; Machado, 2012; Machado, 2014).

Para a construção das EV nos testes de solubilidade, consideraram-se os princípios da QV para experimentos sem síntese, atribuindo-se pontuações de um a três, consoante as orientações de Machado (2014); Sandri, Gomes e Bolzan (2018), Stadler e Gomes (2023), Quadro 1. Para análise considera-se: a) Sempre que o princípio é atingido (GHS=1), têm-se verdura química plena e atribui-se pontuação 3 na EV; b) Quando o princípio é parcialmente atingido (GHS=2), têm-se verdura química parcial e atribui-se pontuação 2 para a EV; c) E quando não há princípio atingido (GHS=3), atribui-se pontuação 1 para a EV, indicando au-

sência de verdura química. \*Na ausência de informação, atribui-se pontuação de perigo máximo.

**Quadro 1:** Critérios para avaliação da verdura química.

| Princípios da Química Verde                                             | Pontuação (p) | Critérios                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P1 – Prevenção                                                          | 3             | Todos os resíduos são inócuos.                                                                                                                              |
|                                                                         | 2             | Formação de pelo menos um resíduo que envolva perigo moderado para a saúde e ambiente.                                                                      |
|                                                                         | 1             | Formação de pelo menos um resíduo que envolva perigo elevado para a saúde e ambiente.                                                                       |
| P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras             | 3             | Os solventes e as substâncias auxiliares não existem ou são inócuos.                                                                                        |
|                                                                         | 2             | Os solventes e as substâncias auxiliares usadas envolvem perigo moderado para a saúde e ambiente.                                                           |
|                                                                         | 1             | Pelo menos um dos solventes ou uma das substâncias auxiliares usadas envolve perigo elevado para a saúde e ambiente.                                        |
| P6 – Planificação para conseguir eficácia energética                    | 3             | Temperatura e pressão ambientais.                                                                                                                           |
|                                                                         | 2             | Pressão ambiental e temperatura entre 0°C e 100°C que implique arrefecimento ou aquecimento.                                                                |
|                                                                         | 1             | Pressão diferente da ambiental e/ou temperatura > 100 °C, ou menor do que 0 °C                                                                              |
| P7 – Uso de matérias-primas renováveis                                  | 3             | Todos os reagentes/matérias-primas envolvidos são renováveis.                                                                                               |
|                                                                         | 2             | Pelo menos um dos reagentes/matérias-primas envolvidos é renovável, não se considera a água.                                                                |
|                                                                         | 1             | Nenhum dos reagentes/matérias-primas envolvidos é renovável, não se considera a água.                                                                       |
| P10 – Planificação para a degradação                                    | 3             | Todas as substâncias envolvidas são degradáveis, com os produtos de degradação inócuos.                                                                     |
|                                                                         | 2             | Todas as substâncias envolvidas que não são degradáveis podem ser tratadas para obter a sua degradação com os produtos de degradação inócuos.               |
|                                                                         | 1             | Pelo menos uma das substâncias envolvidas não é degradável nem pode ser tratada para obter a sua degradação com produtos de degradação inócuos.             |
| P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes | 3             | As substâncias envolvidas apresentam perigo baixo de acidente químico, considerando os perigos para a saúde e perigos físicos.                              |
|                                                                         | 2             | As substâncias envolvidas apresentam perigo moderado de acidente químico, pelo menos uma substância considerando os perigos para a saúde e perigos físicos. |
|                                                                         | 1             | As substâncias envolvidas apresentam perigo elevado de acidente químico, pelo menos uma substância considerando os perigos para a saúde e perigos físicos.  |

**Fonte:** Machado (2014).

## Matriz Verde (MV)

A análise da verdura química se dá por meio de uma análise sumária enquadrada nos princípios da QV, aos quais se relaciona os pontos fortes e os pontos fracos a 15 critérios (Sandri; Santin Filho, 2017, Sandri; Gomes; Bolzan, 2018; Da Silva et al., 2023), apresentados no Quadro 2.

**Quadro 2:** MV- Critérios para análise da verdura química de experimentos sem síntese.

| Critérios de Análise                                   |                                                                                                        | Pontos Fortes                                                                               | Pontos Fracos                                                                                                |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Princípio 1 – Prevenção</b>                         | C1. Riscos físicos                                                                                     | Substâncias sem indicação de perigo físico ou risco moderado (GHS 1 ou 2)                   | Substâncias com indicação de perigo elevado (GHS 3)                                                          |
|                                                        | C2. Riscos à saúde                                                                                     | Sem indicação de perigo baixo ou moderado à saúde (GHS 1 ou 2)                              | Substâncias com indicação de perigo elevado (GHS 3)                                                          |
|                                                        | C3. Riscos ao ambiente                                                                                 | Sem indicação de perigo para o ambiente (GHS 1)                                             | Substâncias tóxicas ao ambiente (GHS 2 ou 3)                                                                 |
|                                                        | C4. Geração de resíduos                                                                                | Não se formam resíduos ou os resíduos gerados são inócuos.                                  | São gerados resíduos e estes representam algum tipo de risco físico, à saúde ou ao ambiente                  |
| <b>P5- Solventes e outras substâncias e auxiliares</b> | C5. Consumo de solventes e auxiliares além dos reagentes iniciais                                      | Não se faz necessário o uso de solventes e auxiliares ou estes são inofensivos              | Os solventes e/ou os auxiliares representam perigo moderado ou elevado para a saúde ou ambiente (GHS 2 ou 3) |
|                                                        | C6. Consumo de água como solvente ou reagente                                                          | Não é utilizado ou o consumo é baixo ( $V \leq 50$ mL)                                      | Consumo > 50 mL                                                                                              |
|                                                        | C7. Consumo de água como facilidade (resfriamento, banhos)                                             | Não é utilizado ou o consumo é baixo ( $V \leq 200$ mL)                                     | Com consumo elevado ( $V > 200$ mL)                                                                          |
|                                                        | C8. Consumo de outros solventes além da água                                                           | Não é utilizado ou o consumo é baixo ( $V \leq 50$ mL)                                      | Consumo > 50 mL                                                                                              |
| <b>P6 – Eficiência energética</b>                      | C9. Consumo de energia                                                                                 | Realiza-se a temperatura e pressão ambientes                                                | Realiza-se em temperatura ou pressão diferentes da do ambiente                                               |
| <b>P7 – Uso de substâncias renováveis</b>              | C10. Utilização de substâncias renováveis                                                              | Todas as substâncias são renováveis                                                         | Pelo menos uma das substâncias não é renovável                                                               |
|                                                        | C11. Utiliza-se substâncias que podem ser reutilizadas em outras experiências ou recicladas após o uso | Todos os reagentes usados e produtos obtidos são degradáveis ou tratáveis para a degradação | Pelo menos uma das substâncias não é degradável ou gera substância nociva em sua decomposição                |
| <b>P10 – Planificação para a degradação</b>            | C12. Uso de produtos degradáveis a produtos inócuos (não considerar a água)                            | Utiliza                                                                                     | Não utiliza                                                                                                  |
| <b>P12 – Química intrinsecamente segura</b>            | C13. Riscos de acidentes devido às substâncias envolvidas                                              | Utiliza substâncias de perigo baixo ou moderado à saúde, ambiente e físico (GHS 2)          | Utiliza substâncias de risco alto à saúde, ambiente ou físico (GHS 3)                                        |
|                                                        | C14. Devido ao uso de equipamentos elétricos                                                           | Com riscos baixos ou moderados                                                              | Com riscos elevados (ex: banhos a altas temperaturas, muflas, prensas)                                       |
|                                                        | C15. Devido ao uso de outros materiais                                                                 | Com riscos baixos ou moderados                                                              | Com riscos elevados                                                                                          |

Fonte: Da Silva et al., 2023.

Após verificar os códigos (GHS) e frases de perigo, a renovabilidade e a biodegradabilidade dos reagentes em uso, definiu-se os pontos fortes e pontos fracos do protocolo experimental. Para isso, foi necessário avaliar as substâncias empregadas conforme os critérios da MV (Quadro 2). Importante frisar que quando o ponto é fraco, o critério não é atendido. Ao contrário, se não houver riscos, o ponto é forte e o princípio da QV em análise é atendido.

Na sequência, faz-se a análise externa, com o objetivo de vislumbrar oportunidades experimentais, aspectos que podem ser melhorados, ou seja, levar ao cumprimento dos princípios/critérios ainda não cumpridos. As alternativas para a melhoria envolvem geralmente a substituição de reagentes usuais, por solventes alternativos (menos nocivos, renováveis, degradáveis a produtos inócuos, etc.), redução de volume utilizado, consequentemente, a redução da quantidade de resíduos produzidos, entre outras possibilidades.

Em paralelo a isto, também na análise externa da MV, pode-se identificar as ameaças, situações que podem inviabilizar intrinsecamente o cumprimento de alguns dos princípios ou dificultar às melhorias necessárias (Ribeiro e Machado, 2012; Machado, 2014). Mesmo que não possam ser atenuados, essas ameaças precisam ser conhecidas para que se tome os cuidados de manuseio e descarte adequados.

## **Resultados e discussões**

### **Teste de solubilidade e Estrela Verde**

A solubilidade de compostos orgânicos está diretamente ligada às ligações intermoleculares entre soluto – soluto, solvente – solvente e daquelas que poderão se estabelecer entre soluto – solvente e eventuais reações que possam favorecer a solubilidade. O conceito e a aplicabilidade da solubilidade são muito explorados em processos rotineiros de um laboratório de Química Orgânica.

Nesse contexto, seguindo a regra geral de que “semelhante dissolve semelhante”, é possível ainda, fazer uma previsão arbitrária das solubilidades relativas das substâncias nos solventes propostos. Contudo, faz-se necessário analisar também a mudança de solubilidade em função do aumento da temperatura do sistema, no qual o solvente não dissolve a frio, mas dissolve o soluto muito bem a quente, teste esse que permite a escolha de um solvente apropriado para ser usado no processo de recristalização do determinado composto (Pavia *et al.*, 2009).

Diante disso, destacamos a grande importância para análise da solubilidade em diferentes condições de temperatura, em que sabidamente emprega-se um número variado de solventes e solutos e que, mesmo em quantidades consideradas pequenas, o montante de todos os testes pode gerar um quantitativo considerável de resíduos, por muitas vezes não-degradáveis a produtos inócuos. Tal problemática justifica a investigação da natureza dos reagentes e seus riscos inerentes, para posterior a isto, termos a possibilidade de escolha ao realizar uma prática mais segura e sustentável, norteadas nos princípios da QV (Sandri; Gomes; Bolzan, 2018).

O Quadro 3, mostra os testes de solubilidade realizados a frio e a quente com solutos e solventes de diferentes polaridades.

**Quadro 3:** Resultados obtidos nos testes de solubilidade (Onde: (+) solúvel a frio; (-) insolúvel a quente; (±) insolúvel a frio e solúvel a quente.

| Solvente/Soluto          | Hexano | Éter etílico | Acetato de Etila | Etanol | Água |
|--------------------------|--------|--------------|------------------|--------|------|
| Ácido Benzoico s.1       | (±)    | (+)          | (+)              | (+)    | (±)  |
| β-naftol s.2             | (+)    | (+)          | (+)              | (+)    | (-)  |
| Difenil amina s.3        | (-)    | (+)          | (+)              | (+)    | (-)  |
| Tiossulfato de Sódio s.4 | (-)    | (-)          | (±)              | (±)    | (+)  |
| Ureia s.5                | (-)    | (-)          | (-)              | (±)    | (+)  |

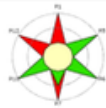
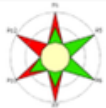
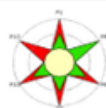
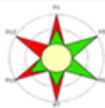
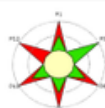
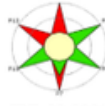
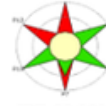
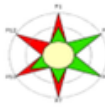
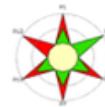
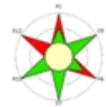
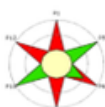
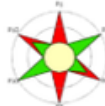
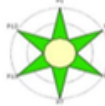
**Fonte:** As autoras.

Vale ressaltar que os testes de solubilidade são realizados a quente quando não apresentam resultados satisfatórios em temperatura ambiente (insolúvel ou pouco solúvel), como mostra o Quadro 3. Entretanto, sempre que houver consumo de energia, o princípio seis da QV não é cumprido integralmente. Entretanto, é compreensível que determinados processos laboratoriais requeiram impreterivelmente o aquecimento, como é o caso de uma recristalização, onde se explora justamente as diferenças de solubilidade de uma substância (a ser purificada) no solvente a frio e a quente.

A seguir, no Quadro 4, têm-se as EVs dos testes de solubilidade: (a) solúvel a frio (+); (b) insolúvel a frio e solúvel a quente (-+) ou insolúvel a quente (-). A solubilização bem-sucedida em temperatura ambiente torna desnecessário o aquecimento. Assim, quando o teste de solubilidade mostra duas estrelas verdes, indica que o experimento foi realizado inicialmente à temperatura ambiente e, a posteriori submetido ao aquecimento em banho-maria.

**Quadro 4.** Estrelas Verdes dos testes de solubilidade realizados a temperatura ambiente (a) e a quente (b) (Onde: IPE - índices de preenchimento de verdura para as estrelas).

|                                                                           |                                                                               |                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Hexano e Ácido Benzoico</p> <p>IPE 41,66% (a) IPE 33,33% (b)</p>       | <p>Hexano e β-Naftol</p> <p>IPE 41,66% (a) IPE 33,33% (b)</p>                 | <p>Hexano e Difenilamina</p> <p>IPE 41,66% (a) IPE 33,33% (b)</p>               |
| <p>Hexano e Tiossulfato de Sódio</p> <p>IPE 41,66% (a) IPE 33,33% (b)</p> | <p>Hexano e Ureia</p> <p>IPE 58,33% (a) IPE 50,00% (b)</p>                    | <p>Éter Etilico e Ácido benzoico</p> <p>IPE 41,66% (a) IPE 33,33% (b)</p>       |
| <p>Éter Etilico e β-Naftol</p> <p>IPE 41,66% (a) IPE 33,33% (b)</p>       | <p>Éter Etilico e Difenilamina</p> <p>IPE 41,66% (a) IPE 33,33% (b)</p>       | <p>Éter Etilico e Tiossulfato de Sódio</p> <p>IPE 50,00% (a) IPE 33,33% (b)</p> |
| <p>Éter Etilico e Ureia</p> <p>IPE 58,33% (a) IPE 50,00% (b)</p>          | <p>Acetato de Etila e Ácido Benzoico</p> <p>IPE 58,33% (a) IPE 33,33% (b)</p> | <p>Acetato de Etila e β-Naftol</p> <p>IPE 58,33% (a) IPE 33,33% (b)</p>         |

|                                                                                                         |                                                                                                         |                                                                                                         |                                                                                                          |                                                                                                           |                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Acetato de Etila e Difenilamina                                                                         | Acetato de Etila e Tiosulfato de Sódio                                                                  |                                                                                                         | Acetato de Etila e Ureia                                                                                 |                                                                                                           |                                                                                                          |
| <br>IPE 58,33%<br>(a)  | <br>IPE 58,33%<br>(a)  | <br>IPE 50,00%<br>(b)  | <br>IPE 58,33%<br>(a)  | <br>IPE 50,00%<br>(b)  |                                                                                                          |
| Etanol e Ácido Benzoico                                                                                 | Etanol e β-Naftol                                                                                       |                                                                                                         | Etanol e Difenilamina                                                                                    |                                                                                                           |                                                                                                          |
| <br>IPE 58,33%<br>(a)  | <br>IPE 58,33%<br>(a)  |                                                                                                         | <br>IPE 58,33%<br>(a) |                                                                                                           |                                                                                                          |
| Etanol e Tiosulfato de Sódio                                                                            | Etanol e Ureia                                                                                          |                                                                                                         | Água e Ácido Benzoico                                                                                    |                                                                                                           |                                                                                                          |
| <br>IPE 58,33%<br>(a)  | <br>IPE 50,00%<br>(b)  | <br>IPE 75,00%<br>(a)  | <br>IPE 66,66%<br>(b)   | <br>IPE 50,00%<br>(a)   | <br>IPE 41,66%<br>(b) |
| Água e β-naftol                                                                                         |                                                                                                         | Água e difenilamina                                                                                     |                                                                                                          | Água e Tiosulfato de Sódio                                                                                |                                                                                                          |
| <br>IPE 50,00%<br>(a) | <br>IPE 50,00%<br>(b) | <br>IPE 58,33%<br>(a) | <br>IPE 50,00%<br>(b)  | <br>IPE 75,00%<br>(a) |                                                                                                          |
|                                                                                                         |                                                                                                         | Água e Ureia                                                                                            |                                                                                                          |                                                                                                           |                                                                                                          |
|                                                                                                         |                                                                                                         | <br>IPE 100%<br>(a)  |                                                                                                          |                                                                                                           |                                                                                                          |

Fonte: As autoras (2025).

Na primeira situação, ao considerar as EVs (Quadro 4) para os diferentes testes de solubilidade realizados a temperatura ambiente (a), com destaque ao fato de não ser necessário o uso de materiais perigosos (bicos de Bunsen, gás, etc.) e aquecimento ou arrefecimento da temperatura, há o atendimento integral do P6 da QV, que prevê a busca da eficiência energética. Entretanto, como é natural, as análises indicam que há uma diminuição da verdura Química, visto pelo índice de Preenchimento da Estrela Verde (IPE), ao empregar o aquecimento em banho-maria.

Todavia os principais agravantes à diminuição de verdura advêm do uso de solventes voláteis e tóxicos sob aquecimento, testes indicados com (b) no Quadro 4, que afetam de forma indireta os princípios P1 (prevenção) e diretamente o P12 (prática da Química intrinsecamente segura para prevenção de acidentes).

Nesse contexto, com base no IPE das EVs, destaca-se os testes mais verdes: Água e Ureia (IPE: 100%); Água e Tiosulfato de Sódio (IPE: 75%); Acetato de Etila com  $\beta$ -naftol, com Ureia, com Tiosulfato de Sódio e com Ácido Benzoico apresentaram EVs com IPE em 58,33%; Etanol com  $\beta$ -naftol, com Ácido Benzoico e com Tiosulfato de Sódio também apresentaram EVs com IPE em 58,33%.

## Matriz Verde

O Quadro 5 mostra MV da análise interna e externa para os testes de solubilidade.

| Análise interna para os testes de solubilidade                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pontos Fortes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Pontos Fracos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <p>C2. Riscos à saúde:</p> <p>Eter etílico - nocivo se ingerido (H302). Pode provocar sonolência ou vertigem (H336). Pode provocar ressecamento da pele ou fissuras por exposição repetida (EUH066).</p> <p>Ácido benzoico - irritação na pele (H315).</p> <p>Hexano - perigo por aspiração (H304).</p> <p>Etanol - pode causar irritação ao globo ocular (H319).</p> <p>Acetato de etila - irritação ocular (H319). Pode provocar sonolência ou vertigem (H336) e ressecamento da pele (EUH066).</p> <p>C5. Não faz uso de solventes auxiliares.</p> <p>C6. Não utiliza água como solvente ou reagente.</p> <p>C7. Não há consumo de água com banhos de aquecimento ou resfriamento.</p> <p>C8. Não consome volumes elevados de solventes.</p> <p>C11. Os compostos químicos são degradáveis ou tratados para degradação.</p> <p>C12. As substâncias não podem ser reutilizadas em outros experimentos.</p> | <p>C1. Risco físico (Pelo menos 1 reagente com GHS 3):</p> <p>Eter etílico - líquido inflamável (H224). Líquido e vapores extremamente inflamáveis (H224). Pode formar peróxidos explosivos (EUH019).</p> <p>Hexano - líquido inflamável (H225).</p> <p>O Etanol é inflamável, dependendo da quantidade, pode causar danos físicos (H225).</p> <p>Acetato de etila é inflamável (H225).</p> <p>C2. Risco à saúde (Pelo menos 1 reagente com GHS 3):</p> <p>Eter Etilico - toxicidade aguda (H302). Toxicidade sistêmica Sistema Nervoso Central (H336).</p> <p><math>\beta</math>-naftol - toxicidade aguda (H302). Toxicidade aguda por inalação (H332).</p> <p>Ácido benzoico - apresenta riscos à saúde como danos oculares graves (H318). Provoca danos aos órgãos (H372).</p> <p>Hexano - toxicidade à reprodução (H361fd). Toxicidade sistêmica de órgão-alvo específico - exposição única sistema nervoso central (H336). Toxicidade sistêmica inalação, sistema nervoso (H373).</p> <p>C3. Riscos ao ambiente (Pelo menos 1 reagente com GHS 2 ou 3):</p> <p><math>\beta</math>-naftol - perigoso ao ambiente aquático - Agudo (H400).</p> <p>Hexano - perigoso ao ambiente aquático - Crônico (H411).</p> <p>C4. O experimento gera resíduo, e esses apresentam perigos à saúde e ao ambiente, por se tratar de natureza nociva.</p> <p>C9. É necessário utilizar energia na forma de calor para a realização do experimento.</p> <p>C10. Hexano, Eter etílico, Ácido benzoico, <math>\beta</math>-naftol e Tiosulfato de sódio não são renováveis.</p> <p>C13. Pelo menos 1 reagente com GHS 3: Etanol, Eter etílico, Acetato de etila e Hexano, são inflamáveis e podem causar acidentes.</p> <p>C14. Utilizam-se fontes de calor.</p> <p>C15. Utiliza-se fontes de aquecimento</p> |
| Análise externa para os testes de solubilidade                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Oportunidades                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Ameaças                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <p>- É possível a utilização da acetanilida e o ácido acetilsalicílico como solutos, ambos geralmente sintetizada em aulas de química Orgânica. Além disso, são menos nocivos e podem ser reutilizados no experimento de recristalização, normalmente realizado após testes de solubilidade</p> <p>- É aconselhável a utilização de solutos e solventes menos tóxicos, já que o objetivo didático não será prejudicado. Como solventes, indica-se o uso de água, etanol, propanona e acetato de etila.</p> <p>- É possível substituir a difenil amina por anilina alimentícia.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p>- Os solventes orgânicos, apesar de apresentarem as maiores ameaças, são necessários, pois em experimentos de solubilidade também se trabalham as interações moleculares e polaridades dos compostos orgânicos.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

Fonte: As autoras

O levantamento dos códigos de perigo dos reagentes envolvidos no experimento de solubilidade, obtidos das FDS, possibilitaram avaliar as frases de perigo e sua classificação.

Com base na periculosidade de todas as substâncias envolvidas no teste de solubilidade, classificadas de acordo com as FDS, destacamos o tiosulfato de sódio como o soluto mais verde por não apresentar perigos físicos, à saúde e ao meio ambiente; seguido da ureia, ácido benzoico e  $\beta$ -naftol, que apresentam menores riscos, ou riscos moderados.

No tocante aos solventes, temos a seguinte ordem crescente de periculosidade: etanol, acetato de etila, acetona, éter etílico e hexano. Este último apresenta indicação de perigos físicos, à saúde e ao meio ambiente. Dentre os mais preocupantes, destacamos os riscos à saúde, como a toxicidade ao sistema nervoso, que pode causar danos irreversíveis às atividades motoras no cérebro humano. O hexano também apresenta perigo ao ambiente aquático e características de inflamabilidade. O éter etílico, por sua vez, apresenta indicação de perigo físico devido à sua alta inflamabilidade e perigo à saúde, com possíveis danos ao sistema nervoso central.

Esta investigação mostrou-se importante, entretanto, não é o suficiente. Desta forma, a fim de realizar uma análise mais detalhada, além dos riscos indicados nas FDS, considera-se a quantidade utilizada, os resíduos gerados e as condições experimentais do experimento, conforme indicam os Quadros 1 e 2.

Além disso, o experimento gera resíduos (C4) que podem ser nocivos à saúde humana e ao ambiente. No experimento, não se faz uso de solventes auxiliares (C5), não se utiliza água em excesso como solvente ou reagente (C6) e não há consumo elevado de água com banhos de aquecimento ou resfriamento (C7), tornando-os critérios atingidos na MV e (C8) não consome volumes elevados de solventes; é necessário utilizar energia na forma de calor para a realização do experimento (C9) e utiliza substâncias não-renováveis (C10), o Hexano, Éter etílico, Ácido benzoico,  $\beta$ -naftol, Tiosulfato de sódio. Os critérios (C11) e (C12) são atendidos, uma vez que tratam de compostos químicos degradáveis ou tratados para degradação, e a possibilidade de reutilização em outros experimentos. Os critérios (C13), (C14) e (C15) restantes são critérios "marrons", pois usam substâncias que podem gerar acidentes (Etanol, Éter etílico, Acetato de etila e Hexano), inflamáveis.

Cabe relevar que a MV foi avaliada considerando todos os testes propostos no protocolo experimental. Contudo, é possível construir a MV separadamente para cada teste, com vistas a facilitar a proposição de oportunidades e ameaças para cada um dos experimentos realizados.

Por fim, após a análise interna da MV, propõem-se oportunidades ao protocolo experimental por meio da análise externa da MV (Quadro 5). Essa análise indica a realização dos testes de solubilidade com substâncias menos nocivas à saúde e ao meio ambiente, como o ácido benzoico, o ácido acetilsalicílico, a acetanilida e a anilina como solutos e solventes como a água, o etanol, a propanona e o acetato de etila.

Além disso, o ácido benzoico e o ácido acetilsalicílico podem ser reutilizados em experimentos de recristalização e verificação do Ponto de Fusão, técnicas comumente realizadas após o teste de solubilidade.

A avaliação externa possibilitou verificar as ameaças experimentais, devido ao emprego de solventes orgânicos. Apesar de apresentarem as maiores ameaças, são necessários, pois, em experimento de solubilidade, também se exploram as interações moleculares e polaridades dos compostos orgânicos. Por fim, sugerimos que os testes de solubilidade de compostos orgânicos sejam realizados apenas com solutos e solventes que apresentam menores riscos físicos, à saúde e ao meio ambiente, por exemplo.

Como vimos, a MV apresentou apenas sete critérios favoráveis à verdura química (pontos fortes), ou seja, 46,66% da métrica atendida para o experimento global. Isso porque ela considera critérios detalhados, como, por exemplo, riscos físicos, à saúde e ao ambiente, a geração de resíduos de natureza nociva para o princípio 1, que trata da prevenção, quando comparado a EV, mais limitada por ser baseada na análise dos princípios da Química verde divididos em três níveis com pontuação de 1 a 3, e não nos mesmos critérios considerados na MV. Assim sendo, percebe-se que a MV traz algumas vantagens em relação à EV, como a análise detalhada, as possibilidades de melhorias previstas no Quadro 5, assim como a identificação de ameaças que podem comprometer a integridade da verdura química do experimento.

### Considerações finais

O emprego das métricas EV e MV permitiu avaliar de maneira sistemática o experimento de solubilidade, rotineiramente realizado em aulas de Química Orgânica e evidenciou como a partir dessas análises é possível identificar aspectos importantes para tornar os experimentos didáticos menos perigosos e danosos, sem perder os objetivos didáticos e de aprendizagem. Nesse sentido, acredita-se que promover exercícios de avaliação de verdura química empregando métricas holísticas pode contribuir na formação crítica de profissionais da Química, quanto às preocupações ambientais e quanto a responsabilidade dos químicos frente a eles.

Nessa perspectiva, Oliveira, Obara e Rodrigues (2007) apontam em seu estudo, que a formação cidadã e crítica de práticas tradicionais pode resultar em mudanças positivas que implicam em reavaliar as questões ambientais como possibilidade de formar indivíduos conscientes e aptos a exercerem a cidadania. Isso se dá a partir da identificação dos malefícios e benefícios de diferentes processos, seja no ensino ou na indústria, com o proposto de promover a reflexão voltado à sustentabilidade socioambiental.

Além disso, os resultados apresentados nessa pesquisa trazem perspectivas ao professor da educação básica e do ensino superior para introdução da QV em aulas de química, uma vez que poderá viabilizar experimentos que geram menos resíduos e são mais seguros para seus alunos, podendo explorar conjuntamente todos os conceitos químicos envolvidos na experimentação (relações entre estrutura química, forças intermoleculares, solubilidade e escolha de solventes para recristalização).

### Referências

ACS. AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. 12 Principles of Green Chemistry. Disponível em: <https://www.acs.org/>. Acesso em: 08 ago. 2024.

ANASTAS, Paul T.; WARNER, John C. **Green chemistry: theory and practice**. Oxford: Oxford University Press, 1998.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

DA SILVA, Thayane Maria et al. Comparações entre as análises pela Matriz Verde e a Estrela Verde de técnicas de extração e purificação da cafeína como forma de refletir sobre a verdu-

- ra de processos químicos estudados no ensino superior. **Scientia Naturalis**, v. 5, n. 2, 2023.
- GOMES, Rachel Novaes et al. Desenvolvimento da química verde no cenário industrial brasileiro. **Revista Fitos**, Rio de Janeiro, Edição Eletrônica, p. 80-89, set. 2018.
- LENARDÃO, Eder João et al. Green chemistry: os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v. 26, p. 123-129, 2003.
- MACHADO, Adélio A. S. C. Da gênese ao ensino da química verde. **Química Nova**, v. 34, p. 535-543, 2011
- MACHADO, Adélio A. S. C. **Introdução às Métricas da Química Verde: uma visão sistêmica**. 1. ed. Florianópolis: UFSC, 2014.
- MACHADO, Adélio A. S. C. Métricas da Química Verde – A produtividade atômica. **Boletim da Sociedade Portuguesa de Química**, v. 107, p. 47-55, 2007.
- OLIVEIRA, André LUIS DE et al. Educação ambiental: concepções e práticas de professores de ciências do ensino fundamental. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 3, p. 471-495, 2007.
- PAVIA, Donald L. et al. **Química Orgânica Experimental: técnicas de pequena escala**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- PIRES, Tânia C. M. et al. Extração do R-(+)-limoneno a partir das cascas de laranja: avaliação e otimização da verduza dos processos de extração tradicionais. **Química Nova**, v. 41, n. 3, p. 355-365, 2018.
- RIBEIRO, Maria Gabriela T. C.; MACHADO, Adélio A. S. C. Novas métricas holísticas para avaliação da verduza de reações de síntese em laboratório. **Química Nova**, v. 35, p. 1879-1883, 2012.
- RIBEIRO, Maria Gabriela T. C.; MACHADO, Adélio A. S. C. Pedagogia da química verde – Educação para a sustentabilidade. **Educa**, 2015. Disponível em: <http://educa.fc.up.pt/pedagogiadaquimicaverde/>. Acesso em: 24 jul. 2024.
- RIBEIRO, Maria Gabriela T. C.; MACHADO, Adélio A. S. C. **Pedagogia da Química Verde – Educação para a Sustentabilidade**. 2008. Disponível em: <http://pedagogiadaquimicaverde.fc.up.pt/>. Acesso em: 05 jul. 2024.
- ROLOFF, Franciani Becker et al. **A circulação de conhecimentos em química verde em teses e dissertações: implicações ao seu ensino e à formação de professores de química**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/176688/345882.pdf?sequence=1>. Acesso em: 22 ago. 2024.
- SANDRI, Marilei Casturina Mendes; SANTIN FILHO, Ourides. Análise da verduza química de experimentos propostos para o ensino médio. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 2, n. 2, p. 97-118, 2017.
- SANDRI, Marilei Casturina Mendes et al. **Química Orgânica Experimental: aplicação de métricas holísticas de verduza Estrela Verde e Matriz Verde**. Editora IFPR, 2018. Disponível em: <http://reitoria.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2018/12/EBOOK-QUIMICA-ORG%C3%82NICA-EBOOK-19-12-4.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2024.
- SANDRI, Marilei Casturina Mendes et al. Os tipos de pesquisas sobre Ensino de Química Verde no Brasil e seus objetivos. RIS: **Revista Insignare Scientia**, 2025. No prelo.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Educação. **Currículo base do Ensino Médio do Território Catarinense** - Caderno 2 – Formação Geral Básica. Florianópolis: Secretaria de Estado da Educação, 2020. Disponível em: <https://www.cee.sc.gov.br/index.php/curriculo-base-do-territorio-catarinense>. Acesso em: 19 maio 2025.

STADLER, João Paulo; GOMES, Sandra Inês Adams Angnes. Relato de vivências no âmbito da Química Verde no curso de Química do Instituto Federal do Paraná - campus Palmas. In: SANDRI, Marilei Casturina Mendes et al. (Org.). **Química verde: propostas, experiências de ensino e reflexões para a formação de professores**. Ponta Grossa: Texto e Contexto, 2023. p. 232. Disponível em: <https://www.textoecontextoeditora.com.br/produto/detalhe/quimica-verde-propostas-experiencias-de-ensino-e-reflexoes/94>. Acesso em: 22 ago. 2024.

ZUIN, Vânia Gomes et al. Green and sustainable chemistry in Latin America: which type of research is going on? And for what? **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 25, 2020.