

Estrela Verde: inserção da Química Verde no Ensino de Química Analítica
Green Star: Insertion of Green Chemistry in the Teaching of Analytical Chemistry

Camila Pesenato Magrin¹; Fernanda Oliveira Lima²

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Química – CFM,
Campus Trindade, 88040-900 – Florianópolis/SC, Brasil.

E-mail: c.p.magrin@posgrad.ufsc.br; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8101-7397>

²Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Realeza, 85770-000, Realeza/PR, Brasil.

E-mail: fernanda.lima@uffs.edu.br; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4055-1216>

Resumo

Na QV as métricas existem com o intuito de avaliar o quão verde são os mais diversos processos desenvolvidos. Uma das métricas é a Estrela Verde (EV) que é considerada holística, pois procura compreender os fenômenos na sua totalidade e globalidade. A EV é a métrica mais recomendada para se trabalhar no ensino de Química, visto suas implicações pedagógicas, simplicidade e diversas potencialidades a serem exploradas. Neste trabalho buscou-se conhecer e aplicar os conceitos da QV analisando as atividades realizadas nos componentes de Química Analítica Experimental (QAE), Qualitativa e Quantitativa. Para isso, a métrica EV foi utilizada a fim de analisar as práticas experimentais quanto a sua “verdura” química, medida pelo Índice de Preenchimento da Estrela (IPE), de acordo com os princípios da QV. Com base nos resultados, foram feitas sugestões para melhorar o IPE e consequentemente tornar mais sustentáveis as práticas realizadas em QAE. Este trabalho de aplicação da métrica EV mostrou-se eficiente na avaliação dos riscos e da “verdura” das práticas realizadas em QAE e, surge como uma proposta para inserção dos princípios da QV na formação de professores de Química, visa incentivar uma mudança de mentalidade na prática Química, sempre com o menor risco possível.

Palavras-chave: Ensino de Química; Métrica Holística; Atividades Experimentais.

Abstract

In GC, the use of metrics focus on the evaluation of how green a wide range of developed processes are. One of the metrics is the Green Star (GS), it is considered holistic because it seeks to understand the phenomena in its totality and globality. The GS is the most recommended metric to work in the teaching of chemistry, taking into account its pedagogical implications, simplicity and various potentialities that can be explored. This study aimed to know and apply the concepts of GC analyzing the activities performed in the components of Experimental Analytical Chemistry (EAC), Qualitative and Quantitative. For this purpose, the GS metric was used in order to analyze the experimental practices regarding its chemical “verdura”, measured by the Star Fill Index (SFI), according to the principles of GC. Based on the results, suggestions were made to improve the SFI and consequently make the practices performed in EAC sustainable. The application of the GS metric, in this work, proved to be efficient in assessing the risks and the “verdura” of the practices performed in EAC. It emerges as a proposal to insert the principles of GC in the formation of Chemistry teachers also it aims to recommend a change of mentality in chemistry practice, always at the lowest possible risk.

Keywords: Teaching Chemistry; Holistic Metric; Experimental Activities.

Introdução

A história da Química está total e diretamente ligada à história do desenvolvimento humano. Para qualquer época que se olhe, a Química está presente, trazendo diversos avanços tanto na indústria produtiva, como na medicina e também oferecendo mais segurança e conforto para a sociedade [1]. Mas, a Química não é somente utilizada para o desenvolvimento e avanços científicos benéficos. Muitos destes avanços podem ter consequências negativas à vida e ao meio ambiente. As contribuições para a melhoria da qualidade de vida acabam ficando em segundo plano, especialmente quando vem à tona questões ecológicas. Neste prisma, o desenvolvimento humano tomou proporções gigantescas e recursos que antes eram considerados inesgotáveis passaram a figurar na lista de “extinção”.

Buscando amenizar estes inconvenientes, muito tem-se falado sobre “Química Verde” (QV) nos últimos anos. Observa-se que a QV é ainda um “ramo” muito recente da Química, mas que vem crescendo e ganhando espaço ano a ano, podendo trazer contribuições tecnológicas, ambientais e econômicas, através da simplificação dos processos, economia de recursos naturais, redução da poluição e custos.

Como forma de disseminar os conceitos embutidos em tal e ampliar estes conhecimentos, para as mais diversas áreas, torna-se importante o estudo histórico da QV, o conhecimento e discussão de seus 12 princípios e em especial das métricas de verdura química. Pois, um profissional formado de acordo com os princípios da QV estará mais preparado para os desafios que a indústria, o meio acadêmico e a sociedade passaram a impor nos últimos anos: a busca pela química autossustentável.

Este artigo demonstra uma maneira de inserir os conceitos da QV e aplicar a métrica Estrela Verde (EV) nos componentes curriculares (CCR's) de Química Analítica Experimental (QAE) de um curso de formação de professores de Química, de uma instituição de ensino superior pública do estado do Paraná/BR. Ao realizar o levantamento de todos os reagentes utilizados, produtos e resíduos gerados nos CCR's de QAE e averiguar os riscos físicos, ambientais e à saúde de cada substância, buscou-se refletir e encontrar alternativas aos problemas em relação aos produtos químicos utilizados para fins de ensino, aplicando a métrica de verdura química. Tal iniciativa visa elaborar estratégias às atividades experimentais sob o prisma da QV, para que futuramente, estudantes e professores sejam sensibilizados quanto as suas possibilidades.

Breve Histórico da Química Verde

Em 1991, quase 30 anos após a publicação do livro “Primavera Silenciosa” da autora Rachel Carson, considerado a base do movimento ambientalista moderno, e após os danos ambientais causados pelo desenvolvimento humano serem problematizados na Conferência de Estocolmo (1972), a *Environmental Protection Agency* (EPA) lançou uma linha de financiamento para projetos de pesquisa que incluíssem a prevenção de poluição em suas rotas sintéticas, caracterizando o nascimento da Química Verde [2-6].

Em 1992, houve a conferência ECO92, sediada no Brasil, na cidade do Rio de Janeiro, com o objetivo de conscientizar e reduzir a emissão de gases, além da produção de resíduos tóxicos, iniciativa que demonstra a crescente preocupação mundial com as questões ambientais. Em 1995, o Governo dos Estados Unidos instituiu o programa *Presidential Green Chemistry Challenge Awards* (PGCC), cujo objetivo era premiar inovações tecnológicas a serem implementadas na indústria para a redução de resíduos gerados na fonte, em diferentes setores da produção [4,5].

Já em 1997 foi criado o *Green Chemistry Institute* (GCI) que desde janeiro de 2001, atua em parceria com a *American Chemical Society* (ACS). Ainda em 1997 a *International Union for Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) organizou a Primeira Conferência Internacional de “*Green Chemistry*”, em Veneza e em julho de 2001 aprovou a criação do Subcomitê Interdivisional de “*Green Chemistry*” [4-6].

Ainda em 2001, foram publicados os “Princípios da Química Tecnológica Verde”, em 2003 “12 Princípios da Engenharia Verde” e em 2013 “Princípios da Química Analítica Verde” [6,7]. Apesar de a QV ainda estar em sua “infância” quando comparada as demais áreas da Química, atualmente, uma das áreas mais ativas de pesquisa e desenvolvimento em QV é o desenvolvimento de metodologias

analíticas, especialmente no que tange ao preparo de amostras, dando origem à chamada Química Analítica Verde [8].

Os 12 Princípios da Química Verde

O desenvolvimento da QV começou no início dos anos 1990, principalmente nos Estados Unidos, Inglaterra e Itália, com a introdução de novos conceitos e valores para várias atividades químicas, assim como, para setores da atividade industrial e econômica. Esse conceito logo se ampliou mundialmente, envolvendo também a IUPAC, no estabelecimento de diretrizes para o desenvolvimento da Química Verde a nível mundial, assim como no Brasil [9].

Em 1998, houve um marco importante na trajetória da QV, que foi a publicação do livro *Green Chemistry: theory and practice* de Paul T. Anastas e John C. Warner [10]. A importância da obra reside no fato de os autores elencarem os “12 princípios da Química Verde”, que podem ser observados na Figura 1.



Figura 1 – Os 12 Princípios da Química Verde.¹⁰

Os 12 princípios fornecem um conjunto claro de orientações para o desenvolvimento do novo campo da Química, a “Química Verde” [11]. É possível inferir que a QV vai além da zona de conforto, de somente utilizar os já testados e validados reagentes, solventes e tecnologias. A sugestão é que, a mesma deva ser promovida e apoiada não só pela comunidade científica, mas também pelos governos, indústrias e todos os outros setores da sociedade [12]. Configurando-se como uma mudança de mentalidade da prática química, e com a finalidade de analisar o quanto as práticas realizadas são verdes e cumprem os princípios efetivamente, dispõe-se de diversas métricas.

As métricas possuem o intuito de avaliar a “verdura” das reações químicas. Costa [13] classifica-as em: **métricas de massa** que têm como objetivo medir a utilização eficaz dos átomos dos reagentes no produto desejado e **métricas ambientais** que pretendem avaliar diversos aspectos da ausência de nocividade da prática, por exemplo: a eficiência energética, a utilização minimizada de solventes, a segurança dos processos quanto aos efeitos tóxicos e nocivos no ambiente e na saúde humana.

As métricas de massa, avaliam a incorporação dos átomos dos reagentes no produto, sendo postulada somente pelos dois primeiros princípios da Química Verde. Talvez por isso, sejam estas as mais conhecidas e utilizadas no intuito de verificar a eficácia da reação. Além do cálculo do rendimento, outras métricas como a Economia Atômica e o Fator E são utilizadas na QV para a avaliação da

verdura das reações. São parâmetros de natureza teórica, que não levam em consideração a presença de outras substâncias além dos reagentes. Entretanto são ferramentas úteis para uma avaliação rápida da quantidade de resíduos que serão gerados pela reação em pauta [14].

Para Costa [13] estas métricas são reducionistas pois, cada uma é dirigida a um componente particular, o que não é adequado para avaliar a verdura como um todo. Como consequência, processos, reações e compostos podem ser tratados como “verdes” sem que realmente os sejam. No caso das métricas ambientais temos como exemplo a *EcoScale* [15], Círculo Verde, Matriz Verde (SWOT) [16,17] e a Estrela Verde [18,19]. Estas são consideradas **métricas holísticas**, pois procuram compreender os fenômenos na sua totalidade e globalidade, tornando-se as métricas mais recomendadas para serem incorporadas ao ensino de Química, visto suas diversas potencialidades a serem exploradas, como implicações pedagógicas, simplicidade, elevado aspecto visual e impactante.

A Estrela Verde (EV) é uma métrica holística que analisa simultaneamente os 12 Princípios da QV, aplicáveis a cada situação laboratorial em análise, para avaliação da verdura desta. A ideia básica da EV é a construção de uma estrela constituída por tantas pontas quantos os princípios usados na avaliação da verdura. O comprimento de cada ponta é proporcional ao grau de cumprimento do respectivo princípio – uma visão semi-quantitativa da verdura pode ser obtida por apreciação visual, simples e imediata, da área da EV [13].

Apesar da EV ser considerada uma métrica holística por analisar o procedimento em sua totalidade e não focar em um princípio específico. O número de pontas da estrela depende da atividade a ser realizada, visto que nem sempre todos os princípios são contemplados. Para sua construção, critérios baseados nos princípios são pontuados. Inicialmente, faz-se um inventário de todas as substâncias envolvidas no experimento. De acordo com Costa [13], estas substâncias podem ser: reagentes estequiométricos, reagentes auxiliares e resíduos.

As frases de perigo encontram-se na seção 2 das Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) – Identificação dos Perigos – e são identificadas por códigos, iniciados pela letra H (*Hazard Statement*, traduzindo do inglês: declaração de perigo), seguido pelo numeral, que indica o gênero do perigo, sendo 2 para perigo físico, 3 quando há perigo para a saúde e 4 para perigo ao meio ambiente e por último dois números que correspondem a numeração sequencial dos perigos [20]. Os códigos de perigo podem ser pontuados de acordo com Duarte [21] e Costa [13].

A EV é construída atribuindo a pontuação 1, 2 ou 3 (sendo 1 para o caso mínimo de atendimento do princípio e 3 para o máximo de verdura), a cada um dos 12 Princípios, de acordo com os critérios definidos em Ribeiro, Costa e Machado [19]. No caso de não haver informações suficientes para pontuar algum dos princípios, atribui-se a pontuação 1, considerando a situação mais desfavorável ou de maior risco.

A Química Verde no Ensino de Química

Um estudo realizado por Sousa-Aguiar e colaboradores [22] demonstrou que, entre os periódicos que mais publicam acerca de Química Verde no mundo, apenas um é brasileiro. Além disso, apesar de existir um número considerável de artigos no Brasil que tratam sobre o assunto, o fator de impacto destas publicações é pequeno, ressaltando que há um amplo campo de estudos para ser explorado, especialmente quanto ao Ensino de Química Verde.

No *locus* deste estudo, ocorrem nas disciplinas de Química Analítica, por intermédio da professora regente, ações pontuais com foco na educação ambiental. Seja durante as aulas experimentais ou monitorias, aborda-se principalmente o tratamento dos resíduos, como por exemplo, Magrin, Theisen e Lima [23] que propõe tratamento dos resíduos das aulas experimentais de Química Analítica Quantitativa e Ribeiro [24] que propõe o tratamento de resíduos das aulas experimentais da grade curricular do curso e discute os benefícios deste tratamento para a Universidade.

O cenário atual do desenvolvimento mundial necessita de profissionais mais preocupados com o meio ambiente, e que estes sejam fundamentais no processo de crescimento sustentável incorporando a Química Verde como parte da sua formação. Do mesmo modo, é importante propor ações que visem qualificar e conscientizar os graduandos que estarão futuramente no mercado de trabalho, para que

quando se depararem com situações de degradação do meio ambiente saibam como agir diante deste cenário [25,26].

Para Sandri e Santin Filho [27], a formação inicial e continuada de professores tem papel fundamental na elevação da qualidade da educação no Brasil, e deve oportunizar reflexões epistemológicas, sociais, econômicas, políticas e históricas. Os autores concordam que, o desenvolvimento científico e tecnológico crescente, traz também implicações sociais e ambientais danosas. Neste propósito, a educação científica tem a importância de tornar este conhecimento “instrumento para a prática social fundamentada, responsável, crítica e transformadora e promover a educação para a sustentabilidade” [27].

Sobre a Química Verde, os autores ainda destacam que:

A inserção desse tema é especialmente importante na formação de futuros professores, porque estes podem ser não apenas praticantes de tais princípios, mas também agentes disseminadores dos mesmos e de discussões capazes de fomentar a Educação Básica e formação cidadã, crítica, responsável e comprometida com um mundo no qual emerge e urge a necessidade de sustentabilidade [27].

Considerando estas premissas, trabalhar os conceitos de QV na formação de professores de Química visa, a médio e longo prazo, o desenvolvimento da sociedade como um todo, preocupada com as mais diversas questões ambientais. Para além de profissionais de excelência, importa ainda formar cidadãos pensantes, críticos, responsáveis e pesquisadores quanto a suas práticas diárias, uma vez que, conforme Tardiff [28], o saber docente é social, porque seus objetos são sociais.

Sendo assim, o enfoque Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) torna-se ainda mais importante, como meio de promover a reflexão e oportunizar práticas didáticas inovadoras, especialmente na formação de professores de Química, visto as implicações desta ciência no atual patamar de desenvolvimento científico e tecnológico [29,30]. A inserção da Química Verde, de forma transversal, pelo viés da Alfabetização Científica (AC) e abordagem CTSA surge como forma de amenizar o “pré-conceito” e estigma que os estudantes têm sobre os componentes curriculares de Química Analítica, especialmente por serem relacionadas a cálculos. Outra vantagem possível é o desenvolvimento de um maior senso crítico, para uma futura atuação profissional responsável e pautada na sustentabilidade.

Método

Com o intuito de realizar o levantamento dos compostos químicos envolvidos nas atividades realizadas nas aulas de QAE, efetuou-se uma pesquisa com abordagem qualitativa a partir das apostilas experimentais e formulários de solicitação de materiais para o laboratório, disponibilizadas pela professora ministrante das disciplinas. De posse dos materiais, foram analisados os reagentes utilizados e possíveis produtos/resíduos gerados a partir das reações. As substâncias foram catalogadas e as FISPQ analisadas de acordo com o *CAS Number*, a fim de identificar os perigos (físicos, para a saúde e para o ambiente) oferecidos por elas. As substâncias também foram classificadas quanto sua degradabilidade e renovabilidade.

As FISPQ foram pesquisadas, preferencialmente, no sítio eletrônico da empresa MERCK Millipore®, e quando não estava disponível nesta, na empresa SIGMA – ALDRICH®, pois estas apresentam-se livres para o acesso e completas, de acordo com a norma ABNT NBR 14725 [31].

De posse de todos os dados, realizou-se a pontuação dos critérios para construção da Estrela Verde. Após a construção da EV, analisou-se o Índice de Preenchimento da Estrela (IPE), a fim de avaliar a “verdura” da atividade e, por fim, realizou-se o estudo de cada prática com intenção de torná-la mais verde quando necessário e se possível.

O IPE foi calculado pela seguinte equação:

$$IPE = \frac{P_{Total} - n}{P_{Máx} - P_{Mín}} * 100 \quad (1)$$

Sendo P_{Total} a pontuação total da prática, n o número de princípios pontuados (que neste caso são 6), $P_{Máx}$ a pontuação máxima da estrela, ou seja, como nossa estrela teve 6 pontas e a pontuação máxima de cada ponta é 3, a pontuação máxima da prática seria 18 e $P_{Mín}$ a pontuação mínima, ou seja, como nossa estrela teve no 6 pontas e a pontuação mínima de cada ponta é 1, a pontuação mínima da prática seria 6. Dessa forma, a equação foi simplificada para:

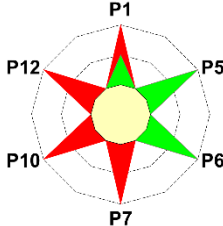
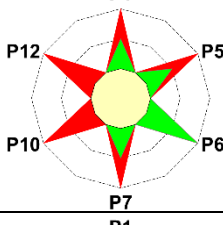
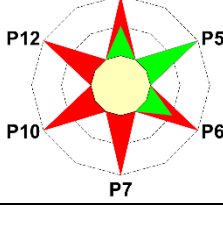
$$IPE = \frac{P_{Total} - 6}{12} * 100 \quad (2)$$

O IPE máximo, igual a 100%, poderia ser alcançado quanto P_{total} fosse 18, ou seja, todos os princípios recebessem pontuação 3 e, por outro lado, P_{total} seria 6, se todos os princípios recebessem pontuação mínima (1), assim com IPE mínimo igual a 0%. As estrelas foram construídas no editor de planilhas *Libre Office Calc* (software livre), utilizando a opção de gráficos radiais.

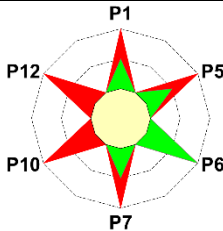
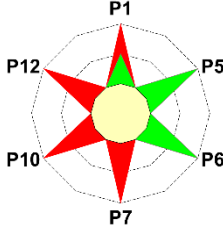
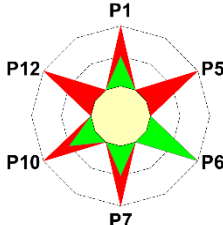
Resultados e Discussões

Neste estudo, foram construídas 38 EV, sendo que aproximadamente dois terços apresentaram IPE igual ou superior a 50,00% e um terço IPE inferior a 50,00%. Considerou-se este percentual para verificação da aceitabilidade das práticas experimentais clássicas [7]. Os menores índices obtidos foram de 33,33% em três práticas e 41,67% em oito práticas. As EV com os menores percentuais são apresentadas na Tabela 1, as quais representam maior necessidade de atenção, a fim de melhorar os IPE.

Tabela 1 - Relação das aulas experimentais, reações envolvidas, Estrelas Verdes destas reações e IPE

QUÍMICA ANALÍTICA QUALITATIVA EXPERIMENTAL				
Aula	Nº	Reações	Estrela Verde	IPE (%)
Reações de identificação de alguns cátions	01	$\text{FeCl}_{3(s)} + 3\text{NH}_4\text{SCN}_{(aq)} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})_{3(aq)} + 3\text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)}$		41,67
	02	$\text{AlCl}_{3(s)} + \text{NH}_4\text{OH}_{(l)} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_{3(s)} + 3\text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)}$ $+ \text{NH}_4\text{OH}_{(l)} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_{4^{-}(aq)} + \text{NH}_4^{+}(aq)$		
	03	$\text{NiCl}_{2(s)} + 2\text{NH}_4\text{OH}_{(l)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)} + \text{Ni}(\text{OH})_{2(aq)}$ $+ 2\text{DMG}_{(aq)} \rightleftharpoons \text{Ni}(\text{DMG})_{2(s)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)}$		
	04	$\text{CoCl}_{2(s)} + \text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}_{(l)} + 2\text{NH}_4\text{SCN}_{(s)} \rightleftharpoons \text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}_{(l)} + \text{Co}(\text{SCN})_{2(l)} + 2\text{NH}_4\text{Cl}_{(l)}$		41,67
Identificação do grupo III A	05	$\text{FeCl}_{3(s)} + \text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)} + 3\text{NH}_4\text{OH}_{(l)} + \Delta \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_{3(s)} + 4\text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)} + 3\text{HCl}_{(l)} \rightleftharpoons \text{FeCl}_{3(s)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(l)} + 3\text{NH}_4\text{SCN}_{(aq)} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})_{3(aq)} + 7\text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)}$		33,33
		$\text{AlCl}_{3(s)} + \text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)} + 3\text{NH}_4\text{OH}_{(l)} + \Delta \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_{3(s)} + 4\text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)} + 2\text{NaOH}_{(aq)} + \Delta \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_{4^{-}(aq)}$		

QUÍMICA ANALÍTICA QUALITATIVA EXPERIMENTAL

Aula	Nº	Reações	Estrela Verde	IPE (%)
	06	$+ \text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HCl}_{(\text{l})} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_{3(\text{s})} + \text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$		
	07	$\text{CrCl}_{3(\text{s})} + \text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{aq})} + 3\text{NH}_4\text{OH}_{(\text{l})} + \Delta \rightleftharpoons 4\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{aq})} + \text{Cr}(\text{OH})_{3(\text{s})} + 2\text{NaOH}_{(\text{aq})} + \frac{3}{2}\text{H}_2\text{O}_{2(\text{l})} + \Delta \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{CrO}_{4(\text{aq})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} + \text{BaCl}_{2(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{BaCrO}_{4(\text{s})} + 2\text{Na}^+_{(\text{aq})} + 2\text{Cl}^-_{(\text{aq})}$		
Identificação do grupo III B	08	$\text{CoCl}_{2(\text{s})} + \text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{aq})} + 2\text{NH}_4\text{OH}_{(\text{l})} \rightleftharpoons 3\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{aq})} + \text{Co}(\text{OH})_{2(\text{aq})} + \text{Na}_2\text{S}_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{CoS}_{(\text{s})} + 2\text{NaOH}_{(\text{aq})} + \text{NaOCl}_{(\text{l})} + \text{HCl}_{(\text{l})} \rightleftharpoons \text{CoCl}_{2(\text{aq})} + \text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}_{(\text{l})} + 2\text{NH}_4\text{SCN}_{(\text{s})} \rightleftharpoons \text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}_{(\text{l})} + \text{Co}(\text{SCN})_{2(\text{l})} + 2\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{aq})}$		41,67
	09	$\text{NiCl}_{2(\text{s})} + \text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{aq})} + 2\text{NH}_4\text{OH}_{(\text{l})} \rightleftharpoons 3\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{aq})} + \text{Ni}(\text{OH})_{2(\text{aq})} + \text{Na}_2\text{S}_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{NiS}_{(\text{s})} + 2\text{NaOH}_{(\text{aq})} + \text{NaOCl}_{(\text{l})} + \text{HCl}_{(\text{l})} + 2\text{NH}_4\text{OH}_{(\text{l})} \rightleftharpoons 2\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{aq})} + \text{Ni}(\text{OH})_{2(\text{aq})} + 2\text{DMG}_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{Ni}(\text{DMG})_{2(\text{s})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{l})}$		41,67
QUÍMICA ANALÍTICA QUANTITATIVA EXPERIMENTAL				
Análise Titulométrica de Precipitação	10	$\text{AgNO}_{3(\text{aq})} + \text{NaCl}_{(\text{aq})} + \text{K}_2\text{CrO}_{4(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{AgCl}_{(\text{s})} + \text{NaNO}_{3(\text{aq})} + \text{K}_2\text{CrO}_{4(\text{aq})}$		41,67
	11	$\text{AgNO}_{3(\text{aq})} + \text{HNO}_{3(\text{l})} + (\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_{2(\text{aq})} + \text{NaCl}_{(\text{aq})} \rightleftharpoons \text{NaNO}_{3(\text{aq})} + \text{AgCl}_{(\text{s})} + \text{NH}_4\text{SCN}_{(\text{aq})} \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{aq})} + \text{AgSCN}_{(\text{s})} + \text{HNO}_{3(\text{l})} + (\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_{2(\text{aq})}$		

Os princípios 4 e 11 não foram pontuados pois, não são contemplados pela métrica em situações de ensino, em razão de que neste caso, não se costuma realizar síntese de novos produtos químicos e tampouco o desenvolvimento de novas metodologias analíticas, aos quais os princípios se aplicam [19]. Foram pontuados, portanto apenas os princípios envolvidos nas práticas estudadas em QAE. Uma vez que muitas atividades laboratoriais de Química Analítica não envolvem reações de síntese, construiu-se uma EV simplificada, em que se excluíram os princípios 2, 3, 8 e 9, pois estes são dirigidos à realização de reações de síntese e não são aplicáveis as demais em que não há reagentes em excesso, derivados ou uso de catálise [19,32].

A EV construída neste trabalho possui 6 pontas, que correspondem aos princípios 1) da prevenção, 5) dos solventes e auxiliares, 6) da eficiência energética, 7) da renovabilidade, 10) da degradabilidade e 12) da Química inerentemente mais segura quanto a prevenção de acidentes; estes que foram pontuados nas práticas realizadas nos CCR de QAE.

No geral, constata-se que a maioria das EV construídas apresentam os princípios 7, 10 e 12 incompletos. Estes tratam da renovabilidade, degradabilidade e segurança da prática, respectivamente.

Infelizmente, substituições plausíveis são de difícil alcance, já que algumas alterações descaracterizam as aulas práticas, por se tratar da Química Analítica Clássica [33,34].

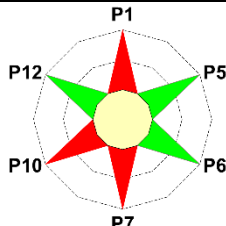
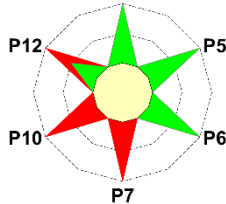
Percebe-se que, o P7, refere-se ao uso de matérias primas renováveis e por isso é de difícil cumprimento nas reações envolvidas em QAE pois a maioria utiliza-se de reagentes provenientes de fontes não renováveis, como é o caso dos sais derivados de metais, já que recursos renováveis são aqueles provenientes de fontes naturalmente reabastecidas. Do mesmo modo que o P7, o P10 é de difícil alcance, este que trata do uso de substâncias degradáveis e, basta uma substância envolvida não ser degradável e nem tratável para que a pontuação seja mínima. No caso específico da QAE utilizam-se muitas substâncias inorgânicas, as quais não são aplicáveis os métodos de degradação biológica.

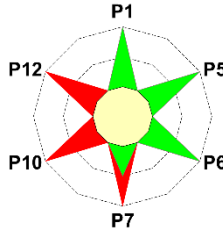
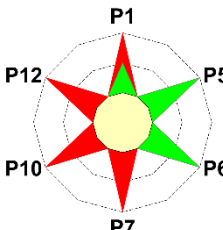
A EV 01, apresentada na Tabela 1, refere-se à reação de identificação do Ferro III. O IPE da mesma foi de 41,67%. Ao observá-la, percebe-se que, o P1 está sendo parcialmente atendido e o P7, P10, e P12, não estão sendo contemplados. Uma opção para melhorar o índice seria a substituição do Cloreto de Ferro III (CAS 7705-08-0) por outro sal que não possuísse perigos de pontuação 3, o que atenderia ao P12, porém, conforme Vogel [34] não há outro sal que possa ser utilizado sem que se descaracterize a atividade prática.

A reação 02, de identificação do Alumínio, conforme EV da Tabela 1, apresenta IPE de 41,67%. Isto se deve, também as pontas P7, P10 e P12 não atendidas. Uma opção para melhorar o índice, de acordo com Vogel [34] é a substituição do Cloreto de Alumínio (CAS 7784-13-6) por Sulfato de Alumínio (CAS 7784-31-8), porém, este apresenta o código de perigo H318, que é elevado para a saúde, e por isso não alteraria o P12. Outra possibilidade para melhorar o IPE da estrela desta reação, conforme sugestão de Vogel [34], é substituir o Cloreto de Alumínio por Sulfato de Alumínio e Potássio dodecahidratado (Alume de Potássio) (CAS 7784-24-9), que não é classificado como perigoso.

Esta reação de identificação do Alumínio, mesmo com o Alume de Potássio, é realizada com Hidróxido de Amônio (CAS 1336-21-6), que possui perigo elevado quanto a saúde. Por isso, para melhorar o IPE de 41,67% para 50,00%, sugere-se a substituição deste hidróxido pelo emprego de Fosfato de sódio (CAS 13472-35-0), que não é classificado como perigoso, conforme reação 12 da Tabela 2. Porém, esta reação leva a produção de resíduos com alta periculosidade, como Ácido Sulfúrico (CAS 7664-93-9), fazendo com que o P1 não seja contemplado. Dessa forma, uma alternativa é o emprego do Carbonato de Sódio (CAS 497-19-8) em vez do Fosfato de Sódio, que aumenta o IPE de 50,00% para 58,33%, conforme reação e EV 13 da Tabela 2.

Tabela 2 – Relação das aulas experimentais, reações sugeridas com modificações, Estrelas Verdes destas reações e IPE.

QUÍMICA ANALÍTICA QUALITATIVA EXPERIMENTAL				
Aula	Nº	Reações	Estrela Verde	IPE (%)
Reações de identificação de alguns cátions	12	$2\text{KAl}(\text{SO}_4)_2(\text{aq}) + 2\text{NaH}_2\text{PO}_2(\text{aq}) \rightarrow 2\text{AlPO}_4(\text{s})$ $+ \text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + \text{K}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + 2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$		50,00
	13	$2\text{KAl}(\text{SO}_4)_2(\text{aq}) + 3\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{s}) \rightarrow \text{Al}_2(\text{CO}_3)_3(\text{s})$ $+ 3\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq}) + \text{K}_2\text{SO}_4(\text{aq})$		58,33

QUÍMICA ANALÍTICA QUALITATIVA EXPERIMENTAL				
Aula	Nº	Reações	Estrela Verde	IPE (%)
	14	$\text{CoCl}_{2(s)} + 7\text{KNO}_{2(aq)} + 2\text{H}_3\text{CCOOH}_{(l)} \rightarrow \text{K}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]_{(s)} + \text{NO}_{(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} + 2\text{KCl}_{(aq)} + 2\text{H}_3\text{CCOOK}_{(aq)}$		41,67
Identificação do grupo III A	15	$\begin{aligned} &\text{FeCl}_{3(s)} + \text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)} + 3\text{NH}_4\text{OH}_{(l)} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_3 \\ &+ 4\text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)} + 3\text{HCl}_{(l)} \rightleftharpoons \text{FeCl}_{3(s)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(l)} \\ &+ 3\text{NH}_4\text{SCN}_{(aq)} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{SCN})_3_{(aq)} + 7\text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)} \\ \\ &\text{AlCl}_{3(s)} + \text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)} + 3\text{NH}_4\text{OH}_{(l)} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3_{(s)} \\ &+ 4\text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)} + 2\text{NaOH}_{(aq)} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_4^-_{(aq)} + \text{Na}^+_{(aq)} \\ &+ \text{HCl}_{(l)} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})_3_{(s)} + \text{Na}^+_{(aq)} + \text{Cl}^-_{(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \\ \\ &\text{CrCl}_{3(s)} + \text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)} + 3\text{NH}_4\text{OH}_{(l)} \rightleftharpoons 4\text{NH}_4\text{Cl}_{(aq)} \\ &+ \text{Cr}(\text{OH})_3_{(s)} + 2\text{NaOH}_{(aq)} + \frac{3}{2}\text{H}_2\text{O}_{2(aq)} \\ &\rightleftharpoons \text{Na}_2\text{CrO}_4_{(aq)} + 4\text{H}_2\text{O}_{(l)} + \text{BaCl}_{2(aq)} \rightleftharpoons \text{BaCrO}_4_{(s)} \\ &+ 2\text{Na}^+_{(aq)} + 2\text{Cl}^-_{(aq)} \end{aligned}$		41,67

A EV 03 refere-se à reação de identificação do Níquel. O IPE da EV foi de 41,67%, apresentado na Tabela 1. Observa-se que este IPE se deve as pontas P7, P10 e P12, não contempladas. Uma opção para melhorar o índice seria a substituição do Cloreto de Níquel (CAS 7718-54-9) por outro sal. De acordo com Vogel [34] para o estudo desta reação, pode ser empregado também Sulfato de Níquel (CAS 10101-97-0) porém, este apresenta perigos igualmente elevados, o que faz com que a substituição não seja significativa.

A reação 04 de identificação do Cobalto, apresenta IPE de 41,67%, como pode ser visto na Tabela 1. Esta reação emprega Cloreto de Cobalto (CAS 7646-79-9), que apresenta perigo de nível 3. De acordo com Vogel [34] as reações dos íons Cobalto (II) podem ser estudadas também com Nitrato de Cobalto (CAS 10026-22-9) porém, este apresenta perigos igualmente elevados, o que faz com que a substituição não altere o IPE, mantendo o P12, que diz respeito aos riscos envolvidos na análise, não contemplado. Nesta mesma reação, o P5 está sendo parcialmente atendido, dessa forma, uma alternativa é eliminar o uso de auxiliares, como o Álcool Amílico (CAS 71-41-0). A reação com Nitrito de Potássio (CAS 7758-09-0) em presença de Ácido Acético é sugerida por Vogel [34], conforme reação e EV 14 da Tabela 2. Com a substituição destes reagentes, o IPE que inicialmente era de 41,67% aumentou para 58,33%, isto pois o P1 e o P5 que estavam sendo atendidos parcialmente puderam ser completamente atendidos.

As reações 05, 06 e 07 referem-se a aula de “Identificação do Grupo III A” apresentando IPE de 33,33% (Tabela 1), sendo este o mais baixo dentre todas as EV construídas. Uma alternativa para melhorar o índice das mesmas é realizar a prática sem aquecimento, o que faz com que o P6 seja completamente atendido e o índice aumente para 41,67%, como pode ser observado na EV 15 da Tabela 2. Sabendo que este IPE é baixo, procura-se fazer outras sugestões na prática, por exemplo, substituir os reagentes mais perigosos, como é o caso dos Cloretos de Ferro III (CAS 7705-08-0) e Cromo III (CAS 10025-73-7) e dos Hidróxidos de Sódio (CAS 1310-73-2) e Amônio (CAS 1336-21-6), por outros de menor periculosidade.

Conforme mencionado na EV 01, para o Cloreto de Ferro III não há um substituto equivalente. Para o Cloreto de Cromo III, Vogel [34] sugere a utilização de Sulfato de Cromo III (CAS 15244-38-9) este que também possui perigo elevado e, portanto, não altera o IPE. A possibilidade de substituir o Hidróxido de Sódio e o Hidróxido de Amônio foi descartada pois, a substituição destes reagentes altera

a “análise qualitativa sistemática”, também conhecido como “marcha analítica” [33-37] e descaracterizaria a aula prática.

Outra EV que apresenta IPE baixo é a 08, conforme Tabela 1, com índice de 41,67%. Como vimos na estrela 04, que também trata da identificação do Cobalto, o IPE pode ser melhorado através da substituição da reação com Álcool Amílico pela com Nitrito de Potássio em presença de Ácido Acético, de 41,67% para 58,33%. No entanto, esta alteração não resultará no aumento do índice pois, a prática “Identificação do Grupo III B” também segue a “marcha analítica” e utiliza substâncias com perigo elevado, como o Hidróxido de Amônio, Hidróxido de Sódio, Sulfeto de Sódio (CAS 1313-84-4) e Hipoclorito de Sódio (CAS 7681-52-9). Cabe ressaltar que, basta a presença de uma substância com perigo elevado para que a pontuação da estrela seja mínima. A estrela 09 da Tabela 1, possui IPE 41,67%, e refere-se à reação de identificação do Níquel, como já abordado na estrela 03, e percebe-se que, do mesmo modo que para a EV 08, as alterações sugeridas não alteram o IPE devido a “marcha analítica”.

A última estrela apresentada na Tabela 1, refere-se a aula de “Análise Titulométrica de Precipitação”, reações 10 e 11, método de Mohr e de Volhard, respectivamente, e apresentam IPE de 41,67%. Ao analisar a estrela, vemos que o P5 e o P12 não estão sendo atendidos. O P5 diz respeito às substâncias auxiliares, que para 10 é o Cromato de Potássio (CAS 7789-00-6) e para 11 é Ácido Nítrico (CAS 7697-37-2), estes apresentam perigo elevado e sugere-se a substituição por outros de menor periculosidade ou inócuos. O P12 diz respeito a segurança do processo e ambas as reações utilizam Nitrato de Prata (CAS 7761-88-8), que apresenta alta periculosidade e sugere-se também a sua substituição. Porém, caso houvesse a substituição destas substâncias, descaracterizaria os métodos estudados em QAE, especialmente estes que são também conhecidos como métodos argentimétricos pois se baseiam na formação de sais de prata pouco solúveis [37-39].

Ao todo, foram estudadas trinta e oito reações desenvolvidas nos CCR de QAE empregando a métrica EV. Destas, propomos alterações em onze reações, como substituição de reagentes e auxiliares a fim de melhorar o IPE. Foi possível um aumento da verdura em cinco estrelas, conforme Tabela 2. Sendo que duas estrelas apresentavam índice de 41,67% e melhoraram para 58,33%, e três EV apresentavam índices de 33,33% e melhoraram para 41,67%. Sabe-se que o índice de 41,67% é baixo, mas alterações mais profundas descaracterizariam a prática. Assim, com o estudo realizado, 76% do total de estrelas passara a apresentar índices acima de 50,00% e, daquelas que nos propomos a melhorar, 45% obtiveram alterações significativas no IPE.

Diante do exposto, percebe-se que um aspecto crucial no ensino de Química Verde diz respeito às suas métricas. Especialmente devido à complexidade da Química, são necessárias ferramentas adequadas para medir o grau de verdura de métodos e procedimentos. Dessa forma foi possível observar que a Estrela Verde se encaixa nesta condição. Para maximizar o aprendizado e enfatizar a “verdura” da prática, uma abordagem interessante é propor que os alunos executem técnicas de laboratório convencionais e com as respectivas substituições verdes lado a lado, a fim de proporcionar uma apreciação tangível para a prevenção de resíduos e redução de risco possível pela aplicação dos princípios da Química Verde [6,40,41].

Contudo, a realização de ambos os experimentos (convencional e verde), tem caráter ambíguo, pois não é adequada do ponto de vista “verde”, já que geraria resíduos em dobro. Por isso, Chhangani [40] propõe a adoção de experimentos em microescala, afim de limitar os montantes de reagentes utilizados e ainda crítica que, para os alunos, a origem dos reagentes químicos é em grande parte um mistério, e da mesma forma, pouco pensamento é dado ao que acontece com os materiais descartados como resíduos perigosos no final de cada experimento. Eis aqui mais um ponto a ser trabalhado e melhorado com a inserção da Química Verde nas práticas experimentais.

Plotka-Wasyłka e colaboradores [6] sugerem que os cálculos dos custos também sejam enfatizados. Sua importância reside no fato de que muitas alternativas mais ecológicas também são economicamente favoráveis em comparação com as soluções tradicionais. Dessa forma, oferece um interesse adicional e os alunos, como futuros professores, químicos ou engenheiros químicos, devem ser capazes de apoiar escolhas verdes com argumentos econômicos, uma vez que isso facilitaria a adesão da versão esverdeada.

Apesar de todos os pontos positivos elencados, ainda existem limitações para a prática da QV devido à natureza complexa da Química. Por isso, é crucial prestar mais atenção aos seus aspectos qualitativos e quantitativos. A inserção de práticas de Química Verde, não se restringe apenas à prática Química propriamente dita, mas, se entremeia nas mais diversas áreas do conhecimento. Com isso, impacta positivamente o conhecimento dos estudantes, gera maior nível de consciência e sustentabilidade, desencadeia o senso de responsabilidade em relação ao meio ambiente, e está em constante evolução [6,42].

A principal razão para o interesse no Ensino de QV é fornecer evidências de que o conhecimento químico pode ser parte da solução para os problemas e não apenas a causa desses. Porém, para isso, a educação adequada torna-se importante, sendo necessário ter professores bem formados para ensinarem seus alunos de forma eficaz. A divulgação da QV aos estudantes de Química por meio dos princípios e métricas (especialmente a EV), contribui para a ampliação da formação consciente desses futuros professores e profissionais, assim como, abre novas possibilidades para o ensino de QV nos cursos de Química [6,42,43].

Kurowska-Susdorf [7], tratando especificamente da Química Analítica Verde, propõe a mesma como ferramenta para o ensino da responsabilidade social. Isto pois, os dados, informações e conhecimentos contidos em relatórios analíticos formam a base para decisões políticas que trazem impactos profundos em nossas vidas. A responsabilidade social, o desenvolvimento sustentável, a justiça, a honestidade e a transparência não devem ser limitadas por abordagens conceituais de teorias incompreensíveis. É preciso educar para a QV desde o início, desde a pré-escola, passando pela escola e continuando na Universidade [7,41]. A métrica apresentada neste estudo corrobora com isto. A EV dispõe de características que a tornam forte candidata a ser trabalhada em todos os níveis de ensino.

Para promover uma maior prática da QV, Summerton, Hurst e Clark [41] propõe a aprendizagem ativa. A aprendizagem ativa é uma estratégia de ensino na qual os alunos participam ativamente no processo de aprendizado, permitindo tarefas cognitivas de ordem superior, como "análise" e "avaliação", que resultam em um entendimento mais profundo do assunto ensinado. As práticas laboratoriais de QV podem ser ainda mais enriquecedoras se acompanhadas da aprendizagem ativa em sala de aula. A Estrela Verde é uma ótima opção para isso, pois, possibilita a avaliação da veracidade de diversos protocolos alternativos, antes da realização da prática, para posterior tomada de decisão de qual o protocolo mais ecológico a seguir. Além de que, a incorporação dessas técnicas incentiva o pensamento crítico dos alunos [41].

A inserção da Química Verde na matriz curricular de cursos de formação de professores de Química é um passo importante para atingir o objetivo de preparar a próxima geração de alunos-professores para um futuro sustentável. Os pressupostos da QV garantem a conexão entre os conteúdos escolares e o ambiente cotidiano dos alunos, sendo que não só os estudantes das ciências químicas, mas os de todas as demais áreas, ganham uma apreciação mais profunda do assunto, como a capacidade de relacionar as ideias para o mundo real, fazer conexões com suas vidas diárias e desenvolver suas habilidades de argumentação e ainda ser capaz de debater os impactos da Química Verde e tradicional [6,40,41].

Considerações Finais

Praticar a QV é ir além da zona de conforto, configurando uma mudança na mentalidade da prática química. Nesta premissa, sugere-se que sejam substituídos os métodos já testados e validados por outras opções que caracterizariam a prática de forma mais verde, visando a formação de futuros professores mais críticos e pensantes quanto às suas práticas diárias.

A aplicação da métrica Estrela Verde se mostrou eficiente para avaliar a veracidade das reações realizadas em QAE. Para além da Analítica, que foi o foco deste estudo, a métrica pode ser aplicada também nos componentes experimentais de Orgânica, Inorgânica, Bioquímica e Físico-Química, no que tange ao curso de Química, além de outros cursos e, especialmente em práticas experimentais realizadas no Ensino Médio.

Visto que a Química Verde configura-se por um conjunto de princípios, que caracterizam uma nova maneira de pensar as Ciências, não sendo uma disciplina isolada, mas que se entremeia por todas as

demais, para além da Química, a Química Verde e suas métricas podem ser aplicadas em todas as áreas de atuação científica, não só a nível de ensino, como também pesquisa, extensão e produção industrial. Com a aplicação de métricas como a Estrela Verde, espera-se desenvolver um maior senso crítico e atenção com as mais diversas questões ambientais, devido ao maior conhecimento e disponibilidade de informações referentes a prática Química, contribuindo assim para desmistificar o papel de vilã desta Ciência e colaborando para uma sociedade mais verde e sustentável.

Referências

- [1] Greenberg, A.; Uma breve história da química: Da Alquimia às Ciências Moleculares Modernas. São Paulo: Blucher. (2009).
- [2] Carson, R.; Primavera Silenciosa. 1 ed. São Paulo: Gaia. (2010).
- [3] Vieira, R. S.; RIO+20 – Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: Contexto, principais temas e expectativas em relação ao novo “Direito da Sustentabilidade”. Novos Estudos Jurídicos 2012, 17, 48.
- [4] Lenardão, E. J. et al.; “Green Chemistry” – Os 12 princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. Química Nova 2003, 26, 123.
- [5] Kotz, J C.; Treichel, P. M.; Weaver, G. C.; Química Geral e Reações Químicas (2). 6a ed., São Paulo: Cengage Learning. (2011).
- [6] Plotka-Wasyłka, J. et al.; Green Chemistry in Higher Education: State of the Art, Challenges, and Future Trends. ChemSusChem 2018, 11, 2845.
- [7] Kurowska-Susdorf, A., et al.; Green Analytical Chemistry: Social dimension and teaching. Trends in Analytical Chemistry 2018, 111, 185.
- [8] de Marco, B. A., et al.; Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: A review. Saudi Pharmaceutical Journal 2019, 27, 1.
- [9] CGEE; Química verde no Brasil: 2010-2030, Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, (2010).
- [10] Anastas, P. T.; Kirchhoff, M. M.; Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry. Accounts of Chemical Research 2002, 35, 686.
- [11] Andraos, J.; Dicks, A. P.; Green chemistry teaching in higher education: a review of effective practices. Chemistry Education Research and Practice 2012, 13, 69.
- [12] Farias, A. L.; Fávaro, D. I. T.; Vinte anos de Química Verde: Conquistas e Desafios. Química Nova 2011, 34, 1089.
- [13] Costa, D. A.; Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2011.
- [14] Merat, L. M. O. C.; San Gil, R. A. S.; Inserção do conceito de economia atômica no programa de uma disciplina de química orgânica experimental. Química Nova 2003, 26, 779.

- [15] Aken, K. V.; Strekowski, L.; Paatiny, L.; EcoScale, a semi-quantitative tool to select na organic preparation based on economical and ecological parameters. *Beilstein Journal of Organic Chemistry* 2006, 2, 1.
- [16] Sandri, M. C. M.; Santin Filho, O.; Análise da verdura química de experimentos propostos para o ensino médio. *ACTIO: Docência em Ciências* 2017, 2, 97.
- [17] Costa, D. A.; Ribeiro, M. G. T. C.; Machado, A. A. S. C.; Uma Análise SWOT do Contexto CTSS das Atividades Laboratoriais do Ensino Secundário. *Sociedade Portuguesa de Química* 2012, 124, 65.
- [18] Ribeiro, M. G. T. C.; Costa, D. A.; Machado, A. A. S. C.; “Green Star”: a holistic Green Chemistry metric for evaluation of teaching laboratory experiments. *Green Chemistry Letters and Reviews* 2010, 3, 149.
- [19] Ribeiro, M. G. T. C.; Costa, D. A.; Machado, A. A. S. C.; Uma métrica gráfica para avaliação holística da verdura de reações laboratoriais – “Estrela Verde”. *Química Nova* 2010, 33, 759.
- [20] Wallau, W. M.; Santos Júnior, J. A.; O sistema globalmente harmonizado de classificação e rotulagem de produtos químicos (GHS) – uma introdução para sua aplicação em laboratórios de ensino e pesquisa acadêmica. *Química Nova* 2013, 36, 607.
- [21] Duarte, R. C. C.; Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2016.
- [22] Sousa-Aguiar, E. F., et al.; Química Verde: a evolução de um conceito. *Química Nova* 2014, 37, 1257.
- [23] Magrin, C. P.; Theisen, R.; Lima, F. O.; Anais do XVI EPEA, Curitiba, Brasil, 2017.
- [24] Ribeiro, J. F.; TCC (Graduação), Universidade Federal da Fronteira Sul, 2017.
- [25] Pagno, V.; TCC (Graduação), Universidade Federal da Fronteira Sul, 2016.
- [26] Panho, J.; TCC (Graduação), Universidade Federal da Fronteira Sul, 2016.
- [27] Sandri, M. C. M.; Santin Filho, O.; Implicações da Inserção da Química Verde na Formação Inicial de Professores de Química. *Revista Brasileira de Ensino de Química* 2016, 11, 111.
- [28] Tardif, M.; Saberes docentes e formação profissional. Petrópolis: Vozes, (2002).
- [29] Diaz, J. A. A., Alonso, A. V.; Mas, M. A. M.; Papel de la educación CTS en una alfabetización científica y tecnológica para todas las personas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 2003, 2, 80.
- [30] Mesquita, N. A. S., Cardoso, T. M. G., Soares, M. H. F. B.; O projeto de educação instituído a partir de 1990: caminhos percorridos na formação de professores de Química no Brasil. *Química Nova* 2012, 36, 195.
- [31] ABNT.; NBR 14725: Produtos químicos - Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente - Parte 2: Sistema de classificação de perigo. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009).
- [32] Harris, D. C.; Explorando a Química Analítica, 4a. ed., Rio de Janeiro: LTC, (2011).

- [33] Mueller, H. Souza, D.; Química Analítica Qualitativa Clássica, 2a. ed., Blumenau: Edifurb, (2012).
- [34] Vogel, A. I.; Química Analítica Qualitativa. 5a. ed. São Paulo: Mestre Jou, (1981).
- [35] Barbosa, G. P.; Química Analítica: uma abordagem qualitativa e quantitativa. São Paulo: Érica, (2014).
- [36] Vaitsman, D. S.; Bittencourt, O. A.; Ensaios Químicos Qualitativos. Rio de Janeiro: Interciência, (1995).
- [37] Bellato, R. C. et al.; Laboratório de Química Analítica. Viçosa: Editora UFV, (2012).
- [38] Leite, F.; Práticas de Química Analítica. 5a. ed. Campinas: Editora Átomo. (2012).
- [39] Rosa, G.; Gauto, M.; Gonçalves, F.; Química Analítica: Práticas de Laboratório. Porto Alegre: Bookman, (2013).
- [40] Chhangani, M. K. S.; Inclusion of Green Chemistry as a Subject in National Education Program. International Journal of Research 2018, 05, 3598.
- [41] Summerton, L.; Hurst, G. A.; Clark, J. H.; Facilitating Active Learning within Green Chemistry. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry 2018, 13, 56.
- [42] Taha, H. et al.; Impact of student-initiated green chemistry experiments on their knowledge, awareness and practices of environmental sustainability. Journal of Physics: Conference Series 2019, 1156, 1.
- [43] Pereira, K. M.; Souza, R. H.; Anais do 15º SIMPEQUI. Manaus, Brasil, 2017.