

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE EDUCAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM EDUCAÇÃO E DOCÊNCIA

NIVIA REGINA VITALINO DE MELO

EXPERIMENTOS VERDES EM QUÍMICA ORGÂNICA: uma proposta de aplicação do método da Estrela Verde para o curso Técnico em Química

Belo Horizonte

2019

NIVIA REGINA VITALINO DE MELO

EXPERIMENTOS VERDES EM QUÍMICA ORGÂNICA: uma proposta
de aplicação do método da Estrela Verde para o curso Técnico em
Química

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Educação e Docência/Mestrado Profissional da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito à obtenção do título de Mestre em Educação e Docência.

Linha de pesquisa: Ensino de Ciências

Orientadora: Prof^a Dr^a Andréa Horta Machado
Coorientador: Prof. Dr. Gilberto do Vale Rodrigues

Belo Horizonte

2019

M528e
T Melo, Nivia Regina Vitalino de, 1964-
Experimentos verdes em química orgânica [manuscrito] : uma proposta de aplicação do método da estrela verde para o curso técnico em química / Nivia Regina Vitalino de Melo. - Belo Horizonte, 2019.
108 f., enc, il.

Dissertação -- (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação.
Orientadora: Andréa Horta Machado.
Coorientador: Gilberto do Vale Rodrigues.
Bibliografia: f. 71-76.
Anexos: f. 77-108.

1. Educação -- Teses. 2. Química -- Estudo e ensino (Ensino médio)-- Teses. 3. Química -- Métodos de ensino -- Teses. 4. Química verde -- Teses. 5. Sustentabilidade -- Estudo e ensino (Ensino médio) Teses. 6. Ensino técnico -- Teses.
I. Título. II. Machado, Andréa Horta. III. Rodrigues, Gilberto do Vale. IV. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação.

CDD- 540.7

Catálogo da Fonte* : Biblioteca da FaE/UFMG (Setor de referência)

Bibliotecário[†]: Ivanir Fernandes Leandro CRB: MG-002576/O
(Atenção: É proibida a alteração no conteúdo, na forma e na diagramação gráfica da ficha catalográfica[‡].)

* Ficha catalográfica elaborada com base nas informações fornecidas pelo autor, sem a presença do trabalho físico completo. A veracidade e correção das informações é de inteira responsabilidade do autor, conforme Art. 299, do Decreto Lei nº 2.848 de 07 de Dezembro de 1940 - "Omitir, em documento público ou particular, declaração que dele devia constar, ou nele inserir ou fazer inserir declaração falsa ou diversa da que devia ser escrita..."

† Conforme resolução do Conselho Federal de Biblioteconomia nº 184 de 29 de setembro de 2017, Art. 3º – "É obrigatório que conste o número de registro no CRB do bibliotecário abaixo das fichas catalográficas de publicações de quaisquer natureza e trabalhos acadêmicos".

‡ Conforme Art. 297, do Decreto Lei nº 2.848 de 07 de Dezembro de 1940: "Falsificar, no todo ou em parte, documento público, ou alterar documento público verdadeiro..."



FOLHA DE APROVAÇÃO

EXPERIMENTOS VERDES DE QUÍMICA ORGÂNICA: uma proposta de aplicação do método da Estrela Verde para o curso Técnico de Química

NÍVIA REGINA VITALINO DE MELO

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em EDUCAÇÃO E DOCÊNCIA/MP, como requisito para obtenção do grau de Mestre em EDUCAÇÃO E DOCÊNCIA, área de concentração ENSINO E APRENDIZAGEM.

Aprovada em 22 de fevereiro de 2019, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). Andrea Horta Machado - Orientador
UFMG

Prof(a). Gilberto do Vale Rodrigues
UFMG

Prof(a). Claudio Luis Donicci
UFMG

Prof(a). Nilma Soares da Silva
UFMG

Belo Horizonte, 22 de fevereiro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o Dom da vida.

Agradeço a minha orientadora Prof^a Dr^a Andréa Horta Machado, a oportunidade de ingressar no mestrado profissional como sua orientanda, por sua paciência, incentivo e contribuições neste trabalho. Acima de tudo, minha eterna gratidão pela leveza e cuidado neste meu percurso.

Agradeço ao meu coorientador Prof. Dr. Gilberto do Vale Rodrigues a oportunidade de acompanhar seu trabalho e a cessão de algumas aulas para desenvolvimento da sequência didática, suas significativas contribuições e orientações na realização deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Claudio Luis Donnici e à Prof^a Dr^a Nilma Soares da Silva, as contribuições na qualificação.

Agradeço aos alunos do 2º ano curso Técnico em Química do COLTEC-UFMG, 2017 e 2018, em especial aos que colaboraram na realização da Sequência Didática, contribuindo para a realização deste trabalho.

Agradeço a minha família e aos amigos o apoio, paciência, conselhos e incentivos.

Agradeço aos monitores do Laboratório de Ensino de Química Orgânica a constante colaboração durante a realização deste trabalho.

Agradeço a todos do Departamento de Química da UFMG que sempre me apoiaram e viabilizaram a realização do mestrado.

Agradeço a todos os meus colegas do Mestrado Profissional, em especial aos da linha de ciências o apoio constante nas horas mais difíceis desta caminhada.

RESUMO

Este trabalho apresenta a elaboração de um produto educacional como objetivo de contribuir para a inserção dos princípios norteadores da Química Verde (QV) na formação de técnicos em química de nível médio. Ao longo da sequência didática os estudantes aprendem a utilizar a métrica holística da Estrela Verde (EV) para construir um gráfico que possibilita a análise de experimentos tendo em vista os 12 Princípios da Química Verde. A sequência didática foi desenvolvida em sala de aula e a produção escrita dos estudantes foi analisada a partir da Análise Textual Discursiva. Foi possível inferir que houve progressão na compreensão dos conceitos da Química Verde.

Palavras-chave: Química Verde, Estrela Verde, Ensino de Química, sequência didática.

ABSTRACT

This work presents the paths covered in the elaboration of an educational product with the objective of contributing to the insertion of the guiding principles of Green Chemistry (GC) in the training of technicians in middle level chemistry. Throughout the didactic sequence students learn to use the holistic Green Star (GS) metric to construct a graph that enables the analysis of experiments in view of the 12 Principles of Green Chemistry. The didactic sequence was developed in the classroom and the written production of the students was analyzed from the Discursive Textual Analysis. It was possible to infer that there was progression in the understanding of the concepts of Green Chemistry.

Keywords: Green Chemistry, Green Star, Chemistry Teaching, Didactic Sequence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrelas Verdes em ordem crescente de grau verde (greenness)	14
Figura 2. Esquema de Quadro Verde para caso genérico de uma reação ou de um composto.....	33
Figura 3. Círculo Verde para atividade Dessalinizar água do mar ou água salgada .	34
Figura 4. Estrela Verde (Green Star) para atividade Dessalinizar água do mar ou água salgada.....	35
Figura 5. Matriz Verde (Matriz SWOT) para atividade Dessalinizar água do mar ou água salgada.....	36
Figura 6. EV com mesma área verde, mesmo IPE (Índice Preenchimento da Estrela)	41
Figura 7. Estrela Verde (Green Star) para roteiro da atividade experimental (EV 1a = EV 1b = EV 1c).....	45
Figura 8. EV para as etapas da extração da cafeína do chá preto.....	46
Figura 9. Esquema da sequência didática	48
Figura 10. Estrelas Verdes construídas pelos alunos	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Critérios para pontuação das substâncias quanto à degradabilidade e à renovabilidade para construção da EV.....	38
Quadro 2. Pontuação e classificação dos perigos das substâncias para construção da métrica Estrela Verde (EV) (Green Star), segundo a regulamentação GHS (Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos) ..	39
Quadro 3. Critérios para pontuar os princípios da QV para construção da EV	40
Quadro 4. Quadro de entrada de dados para construção da EV	41
Quadro 5. Sistema de codificação.....	51
Quadro 6. Resposta dos alunos quanto a verificação do princípio 1 na atividade experimental.....	54
Quadro 7. Unidades de significado para categoria Prevenção de Resíduos	54
Quadro 8. Resposta dos alunos quanto a verificação do Princípio 5 na atividade experimental.....	56
Quadro 9. Unidades de significado para categoria Uso de Solventes e Auxiliares Seguros.....	56
Quadro 10. Resposta dos alunos quanto a verificação do princípio na atividade experimental.....	57
Quadro 11. Unidades de significado para categoria Eficiência Energética	57
Quadro 12. Resposta dos alunos quanto a verificação do princípio na atividade experimental.....	58
Quadro 13. Fontes Renováveis de Matéria Prima.....	59
Quadro 14. Resposta dos alunos quanto a verificação do princípio na atividade experimental.....	59
Quadro 15. Unidades de significado para categoria Produtos Degradáveis	60
Quadro 16. Resposta dos alunos quanto a verificação do princípio na atividade experimental.....	61
Quadro 17. Unidades de significado para categoria Química Segura (Prevenção de Acidentes)	61
Quadro 18. Atribuição da pontuação para construção da EV do experimento “Extração da cafeína do chá preto” pelos alunos	64
Quadro 19. Comparação entre enunciados de quatro estudantes referentes ao Princípio 12 nas atividades 1 e 5.....	67

Sumário

CAPÍTULO 1	10
1 APRESENTAÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo geral	11
1.1.2 Objetivos específicos	11
1.2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS E JUSTIFICATIVA	11
CAPÍTULO 2	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 UM BREVE HISTÓRICO DA QUÍMICA VERDE	16
2.2 INSERÇÃO DA QUÍMICA VERDE (QV) NO ENSINO	21
2.3 OS DOZE PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE	23
2.4 OS SEGUNDOS DOZE PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE	25
2.5 AVALIAÇÃO DO GRAU VERDE (VERDURA) (<i>GREENNESS</i>)	27
2.6 CONSTRUÇÃO DA ESTRELA VERDE (<i>GREEN STAR</i>)	37
2.6.1 Passos para construir a Estrela Verde	37
CAPÍTULO 3	43
3 PERCURSO METODOLÓGICO	43
3.1 ELABORAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	43
3.2 DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA EM SALA DE AULA	49
CAPÍTULO 4	53
4 ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA EM SALA DE AULA	53
4.1 ANÁLISE DA ATIVIDADE 1	53
4.2 ANÁLISE DO CONTEÚDO DA ATIVIDADE 5	63
CAPÍTULO 6	69
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69

7 REFERENCIAS.....	71
8 ANEXOS.....	77
ANEXO A. TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TALE)	77
ANEXO B. TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)	79
ANEXO C. ROTEIRO EXTRAÇÃO DA CAFEÍNA.....	81
ANEXO D. ATIVIDADE 1.....	86
ANEXO E. ATIVIDADE 2	89
ANEXO F. ATIVIDADE 3	91
ANEXO G. ATIVIDADE 4.....	96
ANEXO H. ATIVIDADE 5.....	102

1 APRESENTAÇÃO

Nos anos 1990, a Química Verde (QV) surgiu em resposta à necessidade de um posicionamento que estivesse em consonância com o desenvolvimento sustentável. A QV tem como principal objetivo minimizar ou erradicar o uso de substâncias nocivas buscando contribuir com o desenvolvimento de tecnologias e ações para a sociedade, economia e ambiente a partir de um conjunto de princípios fundamentais (ANASTAS; WARNER, 1998). Para verificar o quanto esses princípios são contemplados em um processo, diferentes métricas podem ser utilizadas. (MACHADO, 2014)

Para alcançar os objetivos da QV são necessárias algumas ações, entre elas sua inserção na educação. Isso pode ser visto como um grande desafio, mas também uma oportunidade, um gatilho para o lançamento e manutenção de uma mudança de postura que abra espaço para novas formas de considerar a utilização de recursos naturais, redução das demandas de energia, eliminação/diminuição do uso e produção de materiais tóxicos, além da utilização de fontes renováveis (MACHADO, 2008; COSTA, 2011; ZANDONAI, 2013). Daí a importância de oportunizar aos estudantes conhecimento sobre a QV e suas diretrizes, elucidando a sua contribuição, as possibilidades e vantagens do seu uso em processos químicos, no contexto do ensino e da indústria.

A literatura vem apontando a necessidade de propor atividades que discutam a QV nos diferentes contextos de educação. Prado (2003) e Costa (2011) ressaltam os desafios enfrentados por professores de todos os níveis de ensino ao inserir a QV no processo de ensino e aprendizagem. Costa (2011) afirma que o ensino da Química precisa estar direcionado ao desenvolvimento sustentável, demandando uma mudança de paradigmas e de mentalidades, carecendo, portanto, ser inserido na vida escolar dos estudantes, tão logo tenham contato com o ensino formal da Química.

No ensino Técnico em Química, que forma futuros profissionais da indústria, é desejável que os alunos tenham acesso a estes conhecimentos. Uma abordagem que pode ser eficiente é integrar os conceitos da QV às atividades já realizadas no curso, como verificar o grau verde (*greenness*) de uma atividade experimental, utilizando uma métrica, para discutir as metas da QV.

A partir destas considerações foram estabelecidos os objetivos deste trabalho, conforme apresentado a seguir.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Elaboração e desenvolvimento de um conjunto de atividades-Sequência Didática -em que o aluno possa verificar o grau verde (*greenness*) de um experimento, que considerem a perspectiva da Química Verde e a metodologia da Estrela Verde (*Green Star*).

1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral desta pesquisa foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Observação da execução de todos os procedimentos experimentais, durante o ano letivo de 2017, realizados no laboratório de Química Orgânica do Colégio Técnico da Universidade Federal de Minas Gerais (COLTEC-UFMG);
- Seleção de um dos procedimentos experimentais e sua análise pelo pesquisador, utilizando a metodologia da Estrela Verde;
- Elaboração de uma Sequência Didática para tornar-se um produto educacional;
- Aplicação da Sequência Didática junto aos estudantes do segundo ano do curso Técnico em Química conforme recomendações do Comitê de Ética e Pesquisa UFMG;
- Análise das respostas dos estudantes às questões da Sequência Didática.

1.2 Considerações Iniciais e justificativa

Minha formação acadêmica universitária é licenciatura em Química e atuo como técnica em química desde novembro de 1986 na Universidade Federal de Minas

Gerais (UFMG). Já atuei como professora de Química no Ensino Médio público e privado e atualmente sou responsável pela organização de aulas práticas de Química Orgânica no Departamento de Química da UFMG. Percebo uma lacuna na minha formação quanto à essência da QV: utilizar de forma eficiente os recursos, preferencialmente os renováveis, incluindo os recursos energéticos; eliminar a formação de resíduos e o uso de solventes e reagentes tóxicos e perigosos na fabricação e utilização dos produtos químicos (ANASTAS; WARNER, 1998).

O contato com este campo - Química Verde - aconteceu quando foi necessário buscar informações para a classificação dos resíduos químicos gerados durante a realização das atividades nos laboratórios nas Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) e interpretá-las, ações que realizei pela primeira vez na minha vivência. O estudo das FISPQ dos reagentes utilizados nas aulas experimentais propiciou reflexões importantes sobre toxicidade dos reagentes tanto para a saúde humana quanto para saúde do ambiente. Este olhar me permitiu observar o volume de resíduos gerados nas atividades experimentais desenvolvidas pelos estudantes da graduação em química.

A partir desse momento, percebi que as aulas práticas e teóricas realizadas durante a minha formação, tanto no curso Técnico em Química quanto na Graduação em Química, não incluíram reflexões nos modos de pensar e agir compatíveis com a QV. Ou seja, eu nunca havia refletido sobre a quantidade de resíduo gerado, sobre a degradabilidade, renovabilidade, toxicidade dos reagentes utilizados em uma atividade experimental, problematizando o impacto ambiental, ou não, das atividades experimentais no ensino. A partir desse novo olhar, questioneei: atualmente nos cursos Técnicos em Química ou na Graduação em Química, são utilizados materiais didáticos que busquem a abordagem da QV? É importante incluir a QV no ensino técnico de nível médio e na graduação?

Para tentar responder a essas questões, iniciei uma pesquisa, na literatura brasileira, com o propósito de buscar informações sobre a produção de materiais didáticos específicos para cursos técnicos, e outros níveis de ensino, na perspectiva de incluir a QV.

Alguns autores, como Zandonai *et al* (2014) apontam que embora seja crescente o número de trabalhos científicos que abordam a QV, ainda são incipientes as pesquisas na área de Educação/Ensino de Química cujo objeto de investigação seja a inserção da QV em processos educativos e suas aplicações.

Nas palavras de Silva *et al* (2016):

A crescente demanda pelo desenvolvimento de métodos ambientalmente seguros e sustentáveis é uma tendência importante tanto no setor produtivo quanto na esfera acadêmica. Desta forma, o planejamento de aulas práticas nos cursos de Química deve abranger experimentos que estejam fundamentados nos princípios da Química Verde. Estes incluem, entre outros, a utilização de materiais de partida atóxicos e oriundos de fontes renováveis, além da escolha apropriada das condições reacionais e da readequação das etapas de tratamento e purificação com o objetivo de diminuir a geração de resíduos prejudiciais ao meio ambiente (SILVA *et al*, 2016, p.967).

Marques *et al* (2007) apontam que as pesquisas em educação química devem considerar os princípios da QV, ponderando que o crescimento dessa área no meio acadêmico pode auxiliar na formação de profissionais mais responsáveis e tecnicamente capazes de escolher processos químicos que incorporem a variável ambiental.

Lenardão *et al* (2003) ressaltam que 'um profissional formado dentro dos princípios da QV estará muito mais preparado para o desafio que a indústria e o meio acadêmico passaram a impor nos últimos anos: a busca pela química autossustentável'. Prado (2003) complementa que esse modo de pensar incentiva inserção da Química Verde nos currículos e nas atividades científicas, bem como seu emprego em escala comercial e industrial. Para alcançar tal êxito, é preciso inserir os conceitos ligados à QV no ensino de nível médio, tão cedo quanto possível (COSTA; RIBEIRO; MACHADO, 2008; MACHADO, 2011).

Voltando ao tema que originou a pesquisa pode perceber que a produção de trabalhos voltados para a elaboração de material didático na perspectiva da QV ainda é incipiente, desafio, principalmente para professores dos cursos profissionais técnicos de nível médio, como apontado por Silva, Machado e Mateus (2014). Assim, considere pertinente a produção de um material didático na perspectiva da QV.

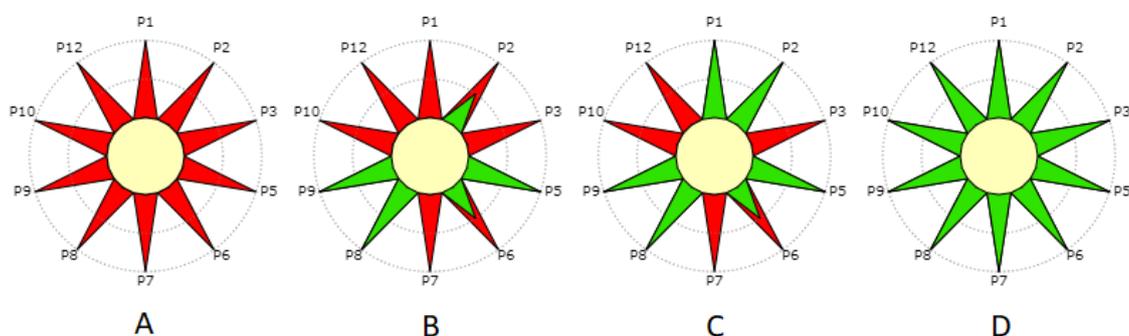
Para tanto, iniciei um levantamento das possibilidades de metodologias que pudessem fundamentar a construção de um material didático que considerasse a perspectiva da QV e que contribuísse na formação do técnico em química. Dessa maneira, conheci a metodologia da Estrela Verde (EV) (*Green Star*).

A EV é uma das métricas utilizadas para avaliar as práticas inerentes à atividade química em laboratórios didáticos. É uma métrica holística, gráfica,

semiquantitativa, que possibilita avaliar as atividades experimentais de uma forma global e sistemática. É uma estrela com o número de pontas relativo ao número de princípios que avaliados em que cada ponta terá o seu respectivo comprimento proporcional ao grau do cumprimento do princípio correspondente (RIBEIRO; COSTA; MACHADO, 2010).

A Figura 1 apresenta um conjunto de Estrelas Verdes (EV), em ordem crescente do grau verde (*greenness*), ou seja, quanto maior a área verde maior o cumprimento dos princípios.

Figura 1. Estrelas Verdes em ordem crescente de grau verde (*greenness*)



Fonte: RIBEIRO; COSTA; MACHADO, 2010.

A EV (A) preenchida totalmente de vermelho evidencia uma situação em que nenhum dos princípios da QV foi atendido, representando a pior situação (caso maligno). A EV (D) preenchida totalmente de verde exemplifica uma situação onde todos os Princípios da QV foram atendidos plenamente, representando a situação ideal (caso benigno). A segunda (EV B) e terceira (EV C) demonstram situações intermediárias. A segunda (EV B) apresenta cinco pontas totalmente vermelhas, representando os princípios que não foram atendidos. As três pontas totalmente verdes indicam os princípios que foram totalmente atendidos. As duas pontas preenchidas com as duas cores, verde e vermelha, refletem a situação em que o princípio foi parcialmente atendido. A terceira (EV C) tem um número maior de pontas verdes quando comparada com a (EV B), por evidenciar uma situação em que o número de princípios cumpridos é maior.

Costa (2011) afirma que o conhecimento e uso dessas métricas são importantes na aprendizagem da QV, embora este campo ainda seja complexo, deve ser explorado em todos os níveis de ensino da Química.

Dessa forma, a escolha do tema de pesquisa tem sua relevância por construir as bases para a concepção e implementação de um produto educacional dentro da perspectiva da QV que possa vir a contribuir como sugestão de material didático para curso Técnico em Química.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Um Breve Histórico da Química Verde

A produção industrial de materiais e insumos contribui com a existência de diversos produtos essenciais à humanidade. Entretanto, também dá origem a inúmeros inconvenientes, como a geração de subprodutos tóxicos e contaminação do ambiente e do próprio ser humano. Segundo Prado (2003), a partir da necessidade de modificações nos processos de produção de materiais, para diminuir algumas dessas consequências negativas emerge a Química Verde. O termo Química Verde foi cunhado e definido por Paul Anastas - químico americano em 1991 - quando era chefe da Divisão de Química Industrial da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency*–EPA ou USEPA).

Segundo Anastas e Warner (1998), a Química Verde busca a forma mais desejável de prevenção da poluição: reduzir as suas fontes por meio de princípios e metodologias, incorporando práticas de prevenção da poluição na fabricação de produtos químicos e processos industriais, diminuindo quaisquer efeitos negativos no ambiente (ANASTAS; WARNER, 1998).

A QV é definida como:

[...]. a utilização de um conjunto de princípios que reduz ou elimina o uso ou geração de substâncias nocivas no desenvolvimento, fabricação e aplicação de produtos químicos (ANASTAS; WARNER, 1998, p. 11).

Segundo Machado (2010), as ideias da QV não surgiram subitamente, mas foram resultados de um longo movimento ambiental que teve contribuições importantes de vários cientistas como a bióloga e ambientalista Rachel Louise Carson, que em 1962, publicou o livro “Primavera Silenciosa” (*Silent Spring*) (CARSON, 2010).

O livro aborda questões como o efeito nocivo do uso desenfreado de pesticidas nos *United States of América* (EUA) colocando em risco a saúde humana e do ambiente. Carson pediu a proibição dos produtos químicos que tinham efeitos duradouros, como o diclorodifeniltricloroetano (DDT) e também reivindicou que outras substâncias fossem usadas de forma mais criteriosa e que os regulamentos para sua fabricação e venda fossem aprimorados. Finalmente, pediu que os cientistas

redobrassem esforços para encontrar métodos alternativos de combate às pragas, como controles biológicos, para que o fluxo de substâncias tóxicas para ambiente fosse minimizado. A obra tornou-se um clássico na história do movimento ambientalista, difundindo a preocupação com os perigos do uso inadequado de pesticidas e a necessidade de melhores políticas de controle.

O Departamento de Agricultura dos EUA (*United States Department of Agriculture, USDA*), órgão federal responsável pela regulamentação de pesticidas antes da criação da Agência de Proteção Ambiental dos EUA nos anos 1970, havia dado início a ações regulatórias no final dos anos 1950 e 1960 para proibir muitos dos usos do DDT devido à crescente evidência do declínio dos benefícios do pesticida e efeitos ambientais e toxicológicos. Em 1972, a EPA emitiu uma ordem de cancelamento para o DDT com base em seus efeitos ambientais adversos, como os da vida selvagem, bem como seus potenciais riscos para a saúde humana.

Desde então, as pesquisas continuaram com base em estudos em animais. Alguns animais expostos ao DDT, durante os estudos, desenvolveram tumores no fígado. Como resultado, hoje, o DDT é classificado como um provável carcinogênico humano pelas autoridades americanas e internacionais (D'AMATO *et al*, 2002). No Brasil, só em 2009 o DDT teve sua fabricação, importação, exportação, manutenção em estoque, comercialização e uso proibidos pela Lei nº 11.936 de 14 de maio de 2009.

Em 1968, a Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) organizou a Conferência Intergovernamental de Especialistas sobre as Bases Científicas para Uso e Conservação Racionais dos Recursos da Biosfera, conhecida como Conferência da Biosfera, que contribuiu no avanço da conscientização dos problemas ambientais nas instâncias governamentais (UNESCO, 1970). Outro fato importante, apontado por Oliveira (2012) foi a criação, em 1968, do Clube de Roma, uma organização fundada pelo industrial italiano e presidente do Comitê Econômico da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), Aurelio Peccei, composta por cientistas, industriais e políticos, com o objetivo de pensar o sistema global e encorajar novas atitudes, entre os quais o combate à degradação ambiental (MEADOWS *et al*, 1973).

Em 1969, o Presidente Richard Nixon estabelece o Comitê Consultivo de Qualidade Ambiental do Cidadão e um Conselho de Qualidade Ambiental em nível de gabinete. Em 2 de dezembro de 1970, oficializa a Agência de Proteção Ambiental. A

agência passou a exercer as atividades federais de pesquisa, monitoramento e fiscalização, tendo como missão proteger a saúde humana e o ambiente.

No ano de 1972, o grupo de pesquisadores liderado por Dennis L. Meadows e sob encomenda do Clube de Roma, publicou o estudo intitulado “Os limites do crescimento” que ficou conhecido como relatório *Meadows* (MEADOWS *et al*, 1973). Oliveira (2012) considera esse documento um estudo de importância peculiar na questão ambiental, destacando três aspectos: 1) o pioneirismo no que concerne à questão do meio ambiente x desenvolvimento econômico na discussão geopolítica contemporânea; 2) a consolidação, no campo acadêmico-universitário, da questão ambiental; 3) a sua dimensão global de divulgação, ao mesmo tempo em que suas conclusões atingiram diferentes públicos e colocaram definitivamente a questão ambiental na pauta dos assuntos cotidianos

A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, também conhecida como Conferência de Estocolmo, que teve o seu início em cinco de junho de 1972, gerou a “Declaração de Estocolmo” (ONU, 1972). Conforme descrição de Passos (2009), ‘traz em seu Preâmbulo sete pontos principais, além de vinte e seis princípios referentes a comportamentos e responsabilidades destinados a nortear decisões relativas à questão ambiental, com o objetivo de garantir um quadro de vida adequado e a perenidade dos recursos naturais’. Passos (2009) considera plausível afirmar que a Declaração de Estocolmo constitui um marco para o Direito Ambiental Internacional, levando em conta que a consciência em relação aos dilemas ambientais surgiu na década de 70.

O Relatório Brundtland (1991) apresenta os resultados da Conferência de Nairobi (1982), promovida pelo programa das Nações Unidas voltado à proteção do meio ambiente e à promoção do desenvolvimento sustentável (UNEP - *United Nations Environment Programme*), quando se decidiu pela criação de uma Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Tonou-se público, a expressão “desenvolvimento sustentável” que passa a ser entendido como “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades”, elaborado pela comissão Brundtland. O conceito de desenvolvimento sustentável passou a ser adotado como expressão oficial nos documentos da Organização das Nações Unidas (ONU), União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) e Fundo Mundial para a Vida Selvagem e Natureza (WWF) (BRUNDTLAND, 1988; JACOBI, 2005; ROMEIRO,

2012). Em 1992, ocorreu a II Conferência da ONU sobre o Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável realizada no Rio de Janeiro (Eco-92 ou Rio-92) (MMA, 2018). Destacam-se entre seus resultados: Carta da Terra (renomeada de Declaração do Rio) e Agenda 21. A Declaração do Rio tem como metas conceber acordos internacionais no tocante à gestão ambiental e desenvolvimento sustentável. A Agenda 21 trata de um documento incluindo uma série de compromissos acordados pelos 170 países presentes, que assumiram o desafio de integrar, em suas políticas públicas, princípios do desenvolvimento sustentável (ARAÚJO *et al*, 2006).

No final da década de 1980, começou a chegar ao fim o período das Leis de Comando e Controle, que possuía como única preocupação controlar a quantidade de resíduos que saíam das chaminés ou canos das indústrias, visando o tratamento dos mesmos somente no fim da linha de produção (*end of pipe*). O reconhecimento que o controle não seria suficiente para evitar os impactos ambientais mostra um novo caminho: a necessidade da prevenção da poluição, assunto levado ao Escritório de Prevenção e Toxicidade da Poluição em 1988. A partir daí, começaram a surgir as iniciativas industriais e governamentais que contribuíram para o estabelecimento da Química Verde. Para Machado (2011), a percepção por parte da indústria química, na década de 80, que adotar como resolução do problema da poluição e resíduos a instalação de equipamentos de fim de linha era pouco eficiente, perceber a necessidade do desenvolvimento de processos de produção com uso eficiente dos materiais e maior produtividade induziu ações que culminaram na QV.

A década de 1990 traz a mudança do foco da ação nas abordagens ambientais: passando da ação corretiva para a preventiva. Um exemplo é a Lei de Prevenção à Poluição nos EUA que busca a redução na fonte, fundamentalmente diferente e mais desejável do que a gestão de resíduos ou o controle da poluição (US EPA). A redução na fonte refere-se a práticas que reduzem a liberação de substâncias perigosas no meio ambiente antes da reciclagem, tratamento ou descarte. O termo inclui modificações no equipamento ou na tecnologia, modificações no processo, reformulação ou reprojeto de produtos, substituição de matérias-primas e melhorias no serviço de limpeza, manutenção, treinamento ou controle de estoque. A prevenção da poluição inclui práticas que aumentam a eficiência do uso de energia, água ou outros recursos naturais e protegem nossa base de recursos por meio da conservação.

Nesse mesmo período, início dos anos 90, foi criado o Projeto para o Meio Ambiente (*Design for the Environment - DfE*) como uma iniciativa inovadora e não regulamentadora para ajudar as empresas a examinar todo o ciclo de vida do produto para propor alterações no projeto, de forma a minimizar o impacto ambiental desde a sua fabricação até o seu descarte (US EPA). Consiste em uma avaliação que incorpora considerações ambientais no projeto de produtos e processos (FARIAS; FÁVARO, 2011).

Em 1984 foi criado no Canadá pela *Canadian Chemical Producers Association* (CCPA) o Programa de Atuação Responsável (*Responsible Care*), atualmente estabelecido em 42 países, estando no Brasil desde 1992. Esse programa engloba uma diversidade de elementos, incluindo a segurança do processo, transporte e interação com fornecedores, distribuidores e outros interessados, objetivando o fornecimento de produtos químicos fabricados de forma segura, protegendo o meio ambiente e a saúde da população (FARIAS; FÁVARO, 2011).

Paralelamente a esses eventos, em 1991, a Agência de Proteção Ambiental (US EPA), por meio do Instituto de Prevenção à Poluição e Tóxicos (OPPT - *Office of Pollution Prevention and Toxics*), lançou também o programa “Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição”, uma linha de financiamento para projetos de pesquisa que incluíssem a prevenção de poluição em suas sínteses, ou seja, o objetivo era fabricar produtos por meio de processos ambientalmente corretos.

Segundo Cannon e Warner (2011), embora houvesse esforços para atingir objetivos semelhantes aos da QV durante os anos 60, 70 e 80, o campo da QV remonta ao início dos anos 90, como uma evolução do programa “Rotas Sintéticas Alternativas para Prevenção de Poluição”. Nas palavras de Cannon e Warner (2011), o termo QV é claramente definido a partir da publicação em 1998, pela primeira vez, do livro de Anastas e Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*. Este livro delineou a ciência da QV, bem como os 12 princípios da QV, articulando o desenvolvimento sustentável das atividades químicas desenvolvidas na academia e na indústria. Sucintamente, constituem os chamados doze Princípios da QV: 1) prevenção; 2) economia atômica; 3) reações com compostos com menos toxicidade; 4) desenvolvimento de compostos seguros; 5) diminuição do uso de solventes e auxiliares; 6) eficiência energética; 7) uso de substâncias renováveis; 8) evitar formação de derivados; 9) catálise; 10) desenvolvimento de compostos degradáveis; 11) análise em tempo real para prevenção de acidentes; 12) química segura para

prevenção de acidentes. Os Doze Princípios serão apresentados, na íntegra, em item específico a seguir.

Posteriormente, Winterton (2001) propôs os Segundos 12 princípios da QV, dirigidos especialmente para os profissionais da Química Acadêmica. Mediante breves formulações, Machado (2012) apresenta a seguinte tradução, numerados a partir de treze, na sequência dos primeiros 12, para evitar confusões: 13) Identificação e quantificação dos coprodutos; 14) Obtenção de conversões, seletividades, produtividades, etc.; 15) Estabelecimento de balanços materiais completos para o processo; 16) Determinação das perdas de catalisadores e solventes nos efluentes; 17) Investigação da energética básica do processo; 18) Identificação de limitações quanto às transferências de calor e de massa; 19) Visualização das reações sob a perspectiva dos engenheiros químicos; 20) Consideração da globalidade do processo industrial ao selecionar a química de base; 21) Procura de medidas de sustentabilidade do processo; 22) Quantificação e minimização do uso de “utilidades”; 23) Identificação de situações de incompatibilidade entre a segurança do processo e a minimização de resíduos; 24) Monitorização, registro e minimização dos resíduos produzidos na síntese laboratorial. Os Segundos Doze Princípios serão também apresentados, na íntegra, em item específico a seguir.

Alguns dos fatos mencionados anteriormente nessa breve história da QV na linha do tempo nos mostram que a comunidade mundial representada por seus líderes, pelos cientistas, ambientalistas em todo o mundo trabalham em prol da saúde do homem e do ambiente. Nesse sentido, a QV enquanto um campo da Química, segundo Zandonai *et al* (2014), vem conquistando cada vez mais espaço, sendo um dos principais agentes para a prevenção da poluição ambiental.

2.2 Inserção da Química Verde (QV) no Ensino

Na literatura, é possível encontrar trabalhos que considerem a importância da inserção da QV nos currículos dos cursos de química no Brasil. Roloff (2016) defende que a abordagem seja transversal ao currículo e não como disciplina pontual, pois essa forma de pensar representa uma resposta às preocupações ambientais. Essa abordagem também é defendida por TIMMER *et al* (2018).

Segundo Costa (2011), uma análise da literatura sobre o ensino da QV mostra que, de acordo com este paradigma, o principal seria preparar os estudantes como futuros cidadãos, para compreender, exigir e contribuir para o desenvolvimento sustentável. Isso demanda uma visão que integra a Química, o ambiente e a economia. As propostas da QV constituem um espaço privilegiado para a construção dessa visão.

Costa (2011) afirma que a inclusão da QV desde a Educação Básica, pode possibilitar a estudantes de todas as áreas, não apenas das ciências, a oportunidade para relacionar os conceitos químicos com o mundo real. Assim, mesmo que muitos desses alunos não venham a ser químicos, poderão utilizar os conceitos da QV ou outras práticas sustentáveis no campo profissional, científico, ético, político, ou mesmo como suporte para a tomada de decisões econômicas, profissionais ou como cidadãos. É importante que os profissionais das novas gerações da área de Química tenham disponíveis ferramentas adequadas para dar suporte para promoção da sustentabilidade. Além disso, devem estar preparados para suprir as dificuldades emergentes no meio industrial e para se adaptar aos novos tipos de mercados criados pelo desenvolvimento sustentável (COSTA, 2011; DUARTE; RIBEIRO; MACHADO, 2015).

Nesse sentido, a inclusão da QV no processo ensino-aprendizagem acarreta desafios para os professores de todos os níveis de ensino e de todas as áreas do sistema educacional. Torna-se necessária a aquisição de novos conceitos e competências, exige-se que esses mantenham-se atualizados e incorporem objetivos verdes às suas práticas pedagógicas, desenvolvendo em seus alunos um novo olhar sobre a Química, que contemple novas perspectivas para sua atuação (PRADO, 2003; COSTA, 2011; DUARTE; RIBEIRO; MACHADO, 2015).

Farias e Fávoro (2011) relatam que, na visão de Anastas, bem como de outros pesquisadores, até então, a formação do químico esteve muito preocupada com a excelência técnica do profissional. O olhar da QV aponta para a necessidade de formar profissionais que tenham conhecimentos técnicos sólidos, capazes também de ter uma visão global, responsáveis com a questão ambiental e flexíveis para adaptar-se às novas exigências sociais.

Segundo Zandonai *et al*, (2014), de modo geral, a QV tem sido introduzida nas instituições de ensino brasileiras na forma de experimentos, entretanto ainda são escassos os relatos de aulas desenvolvidas ou adaptadas para o ensino

experimental de QV na graduação e são incipientes as pesquisas da área de Educação/Ensino de Química cujo objeto de investigação seja a inserção da Química Verde em processos educativos e suas implicações.

Duarte, Ribeiro e Machado (2015) afirmam a importância da implementação do estudo dos princípios da QV e sua aplicação na síntese de compostos, exemplificando a necessidade, possibilidades e vantagens do seu uso, de modo a desenvolver nos estudantes novos modos de pensar e agir com sustentabilidade. Os autores alertam que é fundamental avaliar quantitativamente até que ponto as reações químicas de síntese, os processos de produção industrial, os produtos e os seus usos são realmente verdes, o que exige a utilização de métricas que possibilitem uma adequada avaliação da “verdura” definida por Machado (2014) como:

A definição de verdura química engloba um conjunto de características de benignidade variadas, referente aos compostos e aos processos de fabrico – e nem sempre coincidentes nos dois casos. A verdura química de um composto, via de síntese, processo, etc., é determinada por um grupo de qualidades muito diversas que contribuem para a Sustentabilidade (ou a põem em causa) (MACHADO, 2014, p.50).

Assim Lenardão *et al* (2003) ressaltam que um profissional formado dentro dos princípios da Química Verde estará melhor preparado para enfrentar os desafios impostos pela indústria e pelo meio acadêmico nos últimos anos: a busca pela química autossustentável.

2.3 Os Doze Princípios da Química Verde

Os Doze Princípios da Química Verde foram propostos pelos químicos Paul Anastas e John C. Warner em 1998 (ANASTAS; WARNER, 1998). Esses princípios passaram a orientar profissionais no desenvolvimento de produtos e processos químicos de modo a reduzir ou eliminar impactos ambientais negativos, tendo em vista todos os aspectos do ciclo de vida do processo desde as matérias-primas utilizadas até a eficiência e segurança das reações, a toxicidade e biodegradabilidade dos produtos e reagentes utilizados. Segundo Correia e Zuin (2009), a consideração dos doze princípios como meta pode propiciar a passagem da abordagem tradicional de

comando e controle à desejável prevenção de poluição, tornando-se desnecessárias as remediações dos impactos ambientais frequentemente observados.

Os Doze Princípios da QV, conforme apresentados por LENARDÃO *et al.*, (2003), CORREIA e ZUIN (2009) são descritos a seguir:

1.Prevenção: É melhor prevenir a formação de resíduos, que depois deverão ser tratados, para eliminar as suas propriedades tóxicas.

2.Economia atômica: Os métodos sintéticos devem ser desenvolvidos de modo a maximizar a incorporação dos átomos dos reagentes no produto final.

3.Sínteses menos perigosas: Sempre que possível, utilizar substâncias com baixa ou nenhuma toxicidade nas reações químicas.

4.Desenvolvimento de compostos mais seguros: Sempre que possível, projetar produtos com a função desejada com baixa ou nenhuma toxicidade para os humanos e o meio ambiente.

5.Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras: O uso de substâncias auxiliares (solventes, agentes para promover separações, etc.) deve ser evitado sempre que possível, quando forem usados devem ser inócuos.

6.Eficiência energética: realizar as reações químicas em temperatura e pressão ambientes sempre que possível.

7.Uso de substâncias renováveis: Priorizar o uso, sempre que for técnica e economicamente possível, de matérias primas e recursos renováveis.

8.Reduzir a formação de derivados: evitar a derivatização, ou seja, uso de grupos protetores ou bloqueadores ou, ainda, quaisquer modificações temporárias, quando possível. Os derivados requerem reagentes adicionais e geram resíduos.

9. Catálise: minimizar os resíduos através do uso de catalisadores, que são usados em quantidades mínimas, podendo ser reutilizados muitas vezes. Devem-se preferir reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) a reagentes estequiométricos.

10. Desenvolvimento de produtos degradáveis: desenvolver os produtos químicos de modo que possam ser degradados em substâncias inócuas após seu uso, de modo a não haver acúmulo no meio ambiente.

11. Análise em tempo real para prevenção da poluição: incluir o monitoramento dos processos em tempo real, dentro do processo, para evitar ou eliminar a formação de produtos secundários nocivos.

12. Química segura para a prevenção de acidentes: desenvolver e utilizar os produtos e suas formas (sólido, líquido ou gás) de modo a minimizar o potencial de acidentes químicos, incluindo explosões, incêndios ou derramamentos no meio ambiente.

Para Cannon e Warner (2011), os doze princípios da Química Verde foram referenciados, citados ou listados em inúmeros livros, artigos e páginas na *internet* desde 1998. Os princípios são um tanto gerais, e um público não técnico pode certamente apreciar os pontos principais de cada um. Mas eles foram propostos como diretrizes, para que os profissionais possam identificar ou evitar o uso ou a geração de materiais perigosos para um futuro verdadeiramente sustentável.

2.4 Os Segundos Doze Princípios da Química Verde

Os Segundos Doze Princípios foram propostos por Winterton em 2001, posteriormente aos Doze Princípios (WINTERTON, 2001). Esses princípios complementam os primeiros e contribuem para os profissionais que desenvolvem processos industriais, por exemplo, no âmbito da Química do laboratório à grande escala. Apesar de não serem considerados no âmbito deste trabalho, optamos por incluí-los como forma de favorecer o acesso a estas informações.

Machado (2012), com o objetivo de divulgar estes princípios em língua portuguesa, os apresentou como descritos a seguir:

13. Identificação e quantificação dos coprodutos (subprodutos eventuais e resíduos): identificar os coprodutos e determinar as suas quantidades relativamente à do produto principal.

14. Obtenção de conversões, seletividades, produtividades, etc.: para além do rendimento químico das reações de síntese, determinar métricas relevantes para a QV: seletividades, produtividades (eficiência atômica e similares), etc.

15. Estabelecimento de balanços materiais completos para o processo: especificar, quantificar e contabilizar todos os materiais usados na obtenção do produto final, incluindo os auxiliares, nomeadamente os solventes.

16. Determinação das perdas de catalisadores e solventes nos efluentes: determinar as quantidades ou vazões dos fluxos de efluentes líquidos, sólidos, e gasosos e as concentrações de reagentes auxiliares neles.

17. Investigação da energética básica do processo: avaliar e relatar as variações de entalpia das reações exotérmicas com o fim de alertar para eventuais problemas de liberação de calor com a mudança de escala.

18. Identificação de limitações quanto às transferências de calor e de massa: identificar fatores que afetem as transferências de calor e de massa no escalamento (velocidades de agitação ou de dispersão de gases, áreas de contato gás-líquido, etc.).

19. Visualização das reações sob a perspectiva dos engenheiros químicos: identificar e analisar pontos de constricção para o escalamento no desenvolvimento do processo industrial por estudo das alternativas de tecnologia disponíveis para o implementar e por meio de contatos com engenheiros químicos.

20.Consideração da globalidade do processo industrial ao selecionar a química de base: avaliar o impacto das alternativas possíveis de todas as variáveis de processo (matérias primas, natureza do reator, operações de separação, etc.) nas ações possíveis para a química de base; e realizar experiências com os reagentes comerciais que vão ser utilizados no processo.

21.Procura (desenvolvimento e aplicação) de medidas de sustentabilidade do processo: avaliar quantitativamente, na extensão possível, o grau de sustentabilidade do processo industrial.

22.Quantificação e minimização do uso de “utilidades”: dar atenção ao uso e minimização das “utilidades”, e proporcionar informação que permita avaliar as respectivas necessidades, logo no início do desenvolvimento do processo, ao longo do escalamento.

23.Identificação de situações de incompatibilidade entre a segurança do processo e a minimização de resíduos: dar atenção à segurança do processo a desenvolver com base na síntese laboratorial e alertar para eventuais restrições de segurança que limitem as condições da implementação desta à escala industrial.

24.Monitorização, registro e minimização dos resíduos produzidos na síntese laboratorial: dar atenção pormenorizada e quantitativa aos resíduos produzidos na realização laboratorial da síntese, registrando as suas quantidades e adotando procedimentos que conduzam à sua minimização.

2.5 Avaliação do Grau Verde (verdura) (*greenness*)

Como podemos averiguar se um processo, uma atividade experimental, uma reação é *verde*?

Paul Anastas e John Warner (1998) estabeleceram um conjunto de princípios para a QV, que são as diretrizes para se alcançar um produto ou processo verde. Apesar dos princípios definirem as metas a serem perseguidas, foi necessário estabelecer metodologias que proporcionassem um meio de avaliar o quanto esses

princípios estão sendo alcançados. Uma maneira encontrada para a verificação do grau verde (*greenness*) foram as métricas: de massa, ambientais e holísticas.

No sentido amplo, métricas são ferramentas que quantificam uma tendência, comportamento ou variáveis de um sistema, simples ou complexo, que permitem medir e avaliar. Nas palavras de Machado (2014):

As métricas são meras ferramentas de suporte à decisão, não podendo ser aplicadas cegamente: devem servir apenas como guias para ajudar a mente do decisor a estudar os problemas e tomar decisões, sendo usadas do mesmo modo que as ferramentas, como utensílios auxiliares para manufaturar o objeto que se pretende – cujo planejamento não é determinado pelas ferramentas. Uma decisão sobre como obter ou aumentar verdura química envolve quase sempre facetas não contempladas pelas métricas, a que só um bom conhecimento sobre o caso entre mãos do seu usuário, na qualidade de decisor, permite atender; por isso, para conduzirem a resultados úteis, as métricas exigem um bom domínio, por parte de quem as utiliza, da química em jogo, de suas relações com o ambiente e a saúde humana, etc., enfim de muito outros aspectos além da verdura química, bem como de treino no seu manuseio (MACHADO, 2014, p.226).

Segundo Constable *et al* (2002) as métricas devem ser claramente definidas, simples, mensuráveis, objetivas ao invés de subjetivas, e devem, em última análise, direcionar o comportamento desejado. O mesmo autor conclui que não existe uma métrica melhor para quantificar um ou mais de um dos princípios. Cada métrica isoladamente ou combinada contribui para práticas mais sustentáveis e para propósitos diferentes.

As primeiras métricas utilizadas no contexto da QV foram as baseadas em massa, como o fator E e a economia de átomos, introduzidas no início dos anos 90. Posteriormente surgiu a necessidade de outras métricas, como intensidade de massa e eficiência de massa da reação (SHELDON, 2018). As métricas de massa objetivam avaliar o cumprimento dos Princípios 1 (Prevenção) e 2 (Economia Atômica) dos produtos químicos, reações e processos industriais.

Algumas métricas, como de massa, podem ser empregadas no contexto da indústria e do ensino. Podem ser determinadas por cálculos estequiométricos, a partir das reações químicas ou a partir dos dados obtidos no laboratório durante a execução do experimento (COSTA, 2011). Para Machado (2014), o estudo das métricas da QV está longe de ser completo e é ainda um campo emergente de pesquisas, situação

justificada pelo fato de a QV ser recente, conseqüentemente ainda não haver uma sistematização eficaz das métricas.

Nesse sentido, optamos por apresentar neste trabalho algumas das métricas que se adequam ao contexto de laboratórios de ensino: métricas de massas, métricas de energia, métricas de tempo e métricas holísticas.

As métricas de massa para o contexto do ensino, segundo Almeida (2013), constituem dois grupos: um para quantificar a produção de resíduos e o outro para cálculo da incorporação dos átomos dos reagentes no produto, a saber:

A. Métricas para minimizar a produção de resíduos

1. Fator E (*Environmental factor*): é calculado pela razão entre a massa total dos resíduos produzidos e a massa obtida de produto (SHEIDON, 1992). O valor ideal (mínimo) é zero, situação em que não há produção de resíduos. O seu cálculo é obtido pela expressão:

$$Fator E = \frac{m_{resíduos\ totais}}{m_{produtos}} \times 100$$

2. Intensidade de massa (MI: *Mass intensity*): é calculado pela razão entre a massa total de materiais usados num processo (reagentes estequiométricos, solventes, substâncias auxiliares, etc) e a massa obtida de produto (CURZONS *et al*, 2001). O valor ideal (mínimo) é um, não havendo produção de coprodutos, não serem necessários reagentes auxiliares e admitindo rendimento de 100%. O seu cálculo é obtido pela expressão:

$$MI = \frac{m_{reagentes\ totais}}{m_{produtos}} \times 100$$

3. Intensidade de solventes (SI: *Solventy Intensity*): é calculado pela razão entre a massa total de solventes usados num processo e a massa obtida de produto. O valor ideal (mínimo) é zero, não havendo utilização de solventes. O seu cálculo é obtido pela expressão:

$$SI = \frac{m_{solventes}}{m_{produtos}} \times 100$$

B. Métricas para cálculo da incorporação dos átomos dos reagentes no produto

1. Economia atômica percentual (AE: *Atomic Economy*): é calculada pela razão entre a massa molecular do produto e a soma das massas moleculares dos reagentes estequiométricos, expressa em percentagem (TROST, 1991). O valor desta métrica é teórico. Sendo que o seu valor ideal (máximo) é 100%, ou seja, situação ideal, todos os átomos dos reagentes foram incorporados no produto. O seu cálculo é obtido pela expressão:

$$AE \text{ (teórico)} = \frac{m_{\text{átomos de reagentes estequiométricos no produto}}}{m_{\text{total átomos de reagentes estequiométricos}}} \times 100$$

2. Eficiência de massa da reação (RME: *Relative Mass Efficiency*): é calculada pela razão entre a massa do produto efetivamente obtida e a massa total de reagentes estequiométricos usados na reação, expressa em percentagem (CONSTABLE, 2002). O valor ideal (máximo) desta métrica é 100%, ou seja, situação ideal em que toda massa dos reagentes foi incorporada no produto. O seu cálculo é obtido pela expressão:

$$RME = \frac{m_{\text{produto}}}{m_{\text{reagentes estequiométricos}}} \times 100$$

3. Eficiência elementar percentual do elemento X (XEE: *Element (X) Efficiency*): é calculada pela razão entre a quantidade química do produto obtido, multiplicada pelo número de átomos do elemento X na fórmula molecular, e a soma das quantidades químicas (CONSTABLE, 2001). O valor ideal é 100%, ou seja, situação ideal em que toda massa dos reagentes foi incorporada no produto. O seu cálculo é obtido pela expressão:

$$EE (X) = \frac{m_{\text{x no produto}}}{m_{\text{x nos reagentes estequiométricos}}} \times 100$$

4. Utilização atômica percentual (AU: *Atomic Utilization*): é calculada pela razão entre a massa de produto e a soma das massas de todas as substâncias produzidas na reação (produtos e coprodutos) expressa em porcentagem (SHELDON, 2000). O valor ideal é 100%, ou seja, situação ideal em que não há formação de coprodutos. O seu cálculo é obtido pela expressão:

$$AU = \frac{m_{produto}}{m_{produtos} + m_{coprodutos}} \times 100$$

Em algumas das atividades experimentais são necessários a utilização de equipamentos que geram consumo de energia, tornando assim importante a utilização de métricas para verificar o consumo energético e conseqüentemente a avaliação do tempo gasto na sua execução. O consumo energético deve ser sempre minimizado, devido aos impactos do ponto de vista econômico como ambiental, para atender ao princípio 6 que tem como meta a eficiência energética. Para a avaliação das atividades experimentais no laboratório de ensino, Almeida (2013) sugere a métrica de energia e a métrica de tempo, assim definidas:

1. Métrica de energia (EI: *Energetic Intensity*): é calculada pela razão entre energia utilizada no procedimento e/ou operações realizadas e a massa do produto, expressa em Wh/g. O seu cálculo é obtido pela expressão:

$$EI = \frac{Energia}{m_{produto}}$$

2. Métrica de tempo (TI: *time Intensity*): é calculada pela razão entre o tempo de procedimento e/ou operações realizadas e a massa de produto, expressa em min/g.

$$TI = \frac{Tempo}{m_{produto}}$$

A partir da necessidade de medir simultaneamente, na sua totalidade, os doze princípios da QV, foram propostas as métricas holísticas. Ao se referir a uma das métricas holísticas propostas, Zandonai (2013) afirma que os pesquisadores portugueses 'Ribeiro, Costa e Machado (2010) inovaram construindo uma métrica

qualitativa, que propõe uma análise holística, ou seja, englobando os doze princípios da QV e denominada Estrela Verde’.

Machado (2014) descreve a gênese e o objetivo das métricas holísticas desenvolvidas pelo seu grupo de pesquisa. Segundo o autor, são métricas simples, desenvolvidas para avaliar atividades nos laboratórios de ensino de Química. Elas diferenciam de outras métricas, utilizadas tradicionalmente pela engenharia química, pela sua abordagem sistêmica, permitindo avaliar o grau verde (*greenness*) considerando os Doze Princípios da QV, que são usados com base de aferição global, simultânea, de todos eles. Machado (2014) considera reducionistas as métricas dirigidas à aferição individualizada dos princípios, destacando esse aspecto como diferença entre a natureza das métricas.

Em ordem crescente de complexidade, Costa (2011) e Machado (2014), fazem referência a quatro métricas holísticas: 1) Quadro verde (QV), análise de natureza qualitativa; 2) Círculo verde (CV), análise de natureza qualitativa e resultados gráficos; 3) Estrela verde (*Green Star*)(EV), análise de natureza semiquantitativa e resultados gráficos; 4) Matriz verde (MV), análise de natureza qualitativa e resultados em tabelas, descritas sucintamente a seguir:

1. Quadro Verde (QV)

De acordo com Machado (2014), o Quadro Verde (QV) é constituído por um quadro onde as características relevantes do composto, reação, etc. (em número n) são listadas na vertical e os princípios na horizontal. O Princípio, quando é cumprido, recebe o valor “(+) (mais)”, quando não é cumprido, o valor “(-) (menos)”, quando o valor não tiver sentido, “(0) (zero)”. Caso haja dúvida, pode ser acrescido qualquer símbolo, como o sinal “(?) (interrogação)”.

A Figura 2 apresenta um esquema proposto por Machado (2014), que ilustra a construção de um Quadro Verde (QV) para casos genéricos de uma reação ou de um composto.

Figura 2. Esquema de Quadro Verde para caso genérico de uma reação ou de um composto

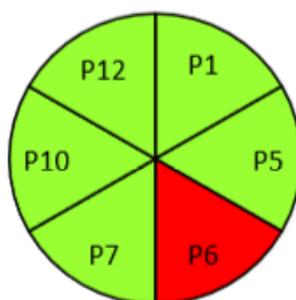
COMPOSTO	PRINCÍPIOS											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PROPRIEDADES:	-	-	-	-	+	-	-	+	+	0	0	-
COMPOSIÇÃO/PREPARAÇÃO	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	0	-
INFLAMABILIDADE	0	0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	+
EXPLOSIVIDADE	...											
TOXIDADE												
DEGRADABILIDADE												
DEPLEÇÃO DE OZONO												
ENERGIA EMBUTIDA												
...												
REAÇÃO												
CONDIÇÕES:	...											
TEMPERATURA												
PRESSÃO												
DERIVATIZAÇÕES												
CATALISADORES												
SOLVENTES												
REAGENTES AUXILIARES												
POTENCIAL DE ACIDENTES												
...												

Fonte: Adaptado de MACHADO, 2014.

2. Círculo Verde (CV)

Segundo Machado (2014), o CV é um círculo constituído pelo número de setores correspondentes aos princípios que serão avaliados, em que os critérios de decisão são do tipo binário, cumprido ou não. Para facilitar a análise visual o setor é colorido, por exemplo, verde = sim: princípio foi cumprido; vermelho = não: princípio não foi cumprido. A Figura 3 traz um exemplo de um CV construído pela pesquisadora Costa (2011) para análise da atividade experimental “Dessalinizar água do mar ou água salgada”. De acordo com Costa (2011), os princípios 7 e 10 foram atendidos porque todas as substâncias utilizadas são renováveis e degradáveis; princípios 1, 10 e 12 foram atendidos porque todas as substâncias utilizadas apresentam baixo risco para saúde, ambiente e risco de acidente químico. O princípio 5 foi atendido porque o solvente é inócuo. O princípio 6 não foi atendido porque realizou destilação a uma temperatura superior à ambiente.

Figura 3. Círculo Verde para atividade Dessalinizar água do mar ou água salgada



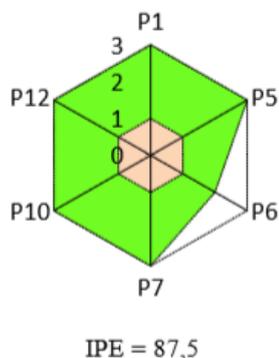
ICP = 83,3

Fonte: COSTA, 2011.

3. Estrela Verde (EV) (*Green Star*)

A EV é uma estrela com o número de pontas correspondente ao número de princípios a serem avaliados, em que ponta apresenta comprimento tanto maior quanto melhor for o cumprimento do princípio. A Figura 4 traz um exemplo de uma EV construída pela pesquisadora Costa (2011) para análise atividade experimental “Dessalinizar água do mar ou água salgada”. De acordo com Costa (2011), os princípios 1, 5, 7, 10 e 12 receberam pontuação 3 porque foram totalmente atendidos em função das substâncias, utilizadas na atividade, serem todas renováveis, degradáveis, apresentarem baixo risco para saúde, ambiente e risco de acidente químico. Somente o princípio 6 foi pontuado em 2, situação parcialmente cumprida, devido a etapa de destilação que foi realizada em uma temperatura entre 0°C a 100° e pressão ambiente.

Figura 4. Estrela Verde (*Green Star*) para atividade Dessalinizar água do mar ou água salgada



Fonte: COSTA, 2011.

4. Matriz Verde (MV)

Segundo Machado (2014), a MV baseia-se na análise SWOT (*Strengths*: pontos fortes, *Weaknesses*: pontos fracos, *Opportunities*: oportunidades, *Threats*: ameaças) para avaliação de cumprimentos de objetivos previamente estabelecidos. Caracteriza-se pela identificação de pontos fortes e fracos do objeto de análise, que indicam os aspectos positivos e negativos, respectivamente, relativos aos objetivos a atingir previamente definidos. A Figura 5 traz um exemplo de uma MV construída pesquisadora Costa (2011) para análise atividade experimental “Dessalinizar água do mar ou água salgada”. Conforme Costa (2011):

Nesta experiência só se utilizam materiais do cotidiano, de baixo custo, renováveis e degradáveis, não envolvendo riscos. Por outro lado, está relacionada com a Química do mundo real e utilizam-se equipamentos. No entanto, como se realiza uma destilação, os consumos energético e de água são elevados. Atendendo a que podem ser realizadas a microescala, esses consumos podem reduzir-se porque os tempos de realização serão menores e porque, eventualmente, será possível substituir o condensador de Liebig por uma coluna de ar não havendo então consumo de água. Pode também reutilizar-se a água de refrigeração, mas esta opção implica problemas operacionais que podem não ser fáceis de ultrapassar. Esta experiência apresenta 70% de pontos fortes, do conjunto de pontos fortes possíveis (a dimensão de análise 5, riscos de acidente devido à instrumentação, não foi avaliada pois não se utiliza instrumentação), mas este valor pode aumentar se forem aproveitadas as oportunidades identificadas (COSTA, 2011, p.124).

Figura 5. Matriz Verde (Matriz SWOT) para atividade Dessalinizar água do mar ou água salgada

<p style="text-align: center;">Pontos Fortes</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas 2. Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas 3. Risco baixo de acidente devido às substâncias envolvidas 4. Risco baixo de acidente devido ao equipamento 6. Risco baixo de acidente devido à montagem 7. Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório 10. Não há utilização de outros solventes para além da água 11. Utilização de materiais renováveis 12. Utilização de materiais degradáveis a produtos inócuos 14. Sem custos para os reagentes 15. Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos 16. Só se utilizam materiais do quotidiano 18. Relação com a Química do mundo real 19. Utilização de equipamentos (manta) 	<p style="text-align: center;">Pontos Fracos</p> <ol style="list-style-type: none"> 8. Consumo elevado de água como solvente 9. Consumo elevado de água como facilidade (refrigeração) 13. É necessário aquecer (destilação) 17. Sem relação com a Química Industrial 20. Não se utiliza instrumentação
<p style="text-align: center;">Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pode ser realizada a microescala e utilizar-se uma coluna de ar para a refrigeração. - Pode reutilizar-se a água de refrigeração 	<p style="text-align: center;">Ameaças</p> <ul style="list-style-type: none"> - Imposição externa para reduzir consumos de água e de energia

Fonte: COSTA, 2011.

Em uma análise comparativa entre as métricas holísticas (QV, CV, EV, MV), os autores Costa (2011) e Machado (2014) enumeram as seguintes vantagens da métrica EV:

- Permitir identificar os princípios da QV cumpridos ou não, com três níveis de gradação de cumprimento, análise semiquantitativa;
- Avaliar o grau verde (*greenness*) de um procedimento laboratorial sem realizá-lo experimentalmente;
- Avaliar cumprimento dos princípios pela inspeção visual e comparação a partir do índice de preenchimento da estrela (área verde);
- Construção simples;
- Métrica que avalia simultaneamente, ou seja, holisticamente, os doze princípios da QV.

Diante dessas características e considerações de outros autores como Duarte(2016), Saqueto (2015), Fernandes (2015), Zandonai (2014), Salgado (2014), Pereira (2014), Costa (2011) que utilizaram a metodologia da EV como ferramenta para avaliar o grau verde (*greenness*) de atividades propostas para o ensino, optou-se por utilizar essa métrica neste estudo.

Zandonai (2014), após concluir seu trabalho de análise das potencialidades e limitações de experimentos verdes introduzidos na formação inicial de professores de Química, considerou que a métrica EV contribuiu para verificar o grau verde (*greenness*) dos experimentos, apontando que a EV é útil para avaliar o grau verde (*greenness*), em virtude de englobar a maioria dos princípios da QV de forma holística.

2.6 Construção da Estrela Verde (*Green Star*)

Uma vez que a Estrela Verde (*Green Star*) será a ferramenta proposta para analisar a atividade experimental no produto educacional desenvolvido neste trabalho, optamos por descrever as etapas para a sua construção e apresentar os critérios estabelecidos por Ribeiro; Costa; Machado, (2010); Machado (2014) e Ribeiro; Yune; Machado (2014).

2.6.1 Passos para construir a Estrela Verde

1. Selecionar os princípios da QV que serão avaliados: definir quais princípios serão avaliados na atividade a ser realizada. Nas atividades de ensino os princípios 4 e 11 não são avaliados, pois no ensino não se produz novos produtos químicos, esses princípios são aplicáveis no contexto da indústria.

2. Identificar todas as substâncias que serão utilizadas: reagentes, produtos, coprodutos obtidos, catalisadores, agentes secantes, solventes, agentes de purificação, resíduos gerados. Neste trabalho, usaremos as seguintes definições, conforme Fernandes (2015):

Reagentes estequiométricos: são os reagentes que participam na reação química, e que aparecem nas equações químicas.

Substâncias auxiliares: são as substâncias que participam na reação química, mas não aparecem nas equações químicas, por exemplo, catalisadores, solventes, etc.

Resíduos: todo o material que vai ser descartado (reagente em excesso, solventes, substâncias auxiliares, coprodutos), exceto o produto formado.

Coprodutos: substâncias que se formam na reação, para além do produto.

Produto: composto que se pretende obter (FERNANDES, 2015, p. 5).

3. Identificar os perigos para saúde, ambiente e físicos: estas informações são obtidas nas Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) ou *Safety Data Sheet* (SDS) pelo código de perigo do Sistema Harmonizado Globalmente para a Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (*Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals*) - Código GHS.

4. Classificar as substâncias quanto à renovabilidade (se obtida, ou não, de matérias-primas renováveis) e à degradabilidade: a classificação deve ser feita segundo os critérios apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Critérios para pontuação das substâncias quanto à degradabilidade e à renovabilidade para construção da EV

Degradabilidade e renovabilidade das substâncias envolvidas		
Características	Critérios	P ₁
Degradabilidade	Degradáveis com produtos de degradação inócuos	1
	Não degradáveis, mas que o possam ser tratados para se obter a sua degradação em produtos de degradação inócuos	2
	Não degradáveis e que não possam ser tratados para se obter a sua degradação em produtos de degradação inócuos	3
Renovabilidade	Renováveis	1
	Não renováveis	3

P₁ = Pontuação - Fonte: RIBEIRO; COSTA; MACHADO, 2010.

5. Pontuar cada substância: cada substância deve ser pontuada de 1 (benignidade máxima) a 3, segundo critérios pré-estabelecidos para os perigos referentes a saúde humana, ambiente e perigos físicos conforme apresentados no Quadro 2. Nos casos em que não se encontra informações para substância/critério ou ela é inconsistente, usa-se o valor mais penalizador (pontuação 3).

6. Pontuar cada princípio quanto ao seu cumprimento, de 1 a 3: a pontuação 1 significa plenamente verde (caso ideal, benigno), 2 significa moderadamente verde (aceitável com algumas restrições) e 3 significa ausência total de verde (caso maligno). Estes critérios pré-estabelecidos estão apresentados no Quadro 3. Nos casos em que não se encontram informações suficientes sobre o princípio, este recebe a pontuação 1, considerando a pior situação ou de maior risco.

Quadro 2. Pontuação e classificação dos perigos das substâncias para construção da métrica Estrela Verde (EV) (Green Star), segundo a regulamentação GHS (Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos)

Perigo		Código de perigo (GHS)	P ₁
FÍSICO	Advertências de perigo	H200, H201, H202, H203, H205 H220, H222, H224, H225, H228 (categoria 1), H270 H271, H272(categoria 2) H240, H241, H242(Tipo C & D), H250, H260, H261(categoria2) H251, H270, H271, H272(categoria 2)	3
		H221, H223, H226, H228(categoria 2), H242(Tipo E & F), H252, H261(categoria3), H280, H281	2
		Sem indicação	1
	Advertências de perigo adicionais utilizadas apenas na União Europeia	EUA001, EUH006, EUH014, EUH018, EUH019, EUH044, EUH209	3
		EUH209A	2
		Sem indicação	1
SAÚDE HUMANA	Advertências de perigo	H300, H301, H304, H310, H311, H314, H318, H330, H331, H334, H340, H350, H360, H370, H372	3
		H302, H312, H315, H317, H319, H332, H335, H336, H341, H351, H361, H362, H371, H373	2
		Sem indicação	1
	Advertências de perigo adicionais utilizadas apenas na União Europeia	EUH029, EUH031, EUH032, EUH070, EUH071, EUH201, EUH202, EUH206, EUH207	3
		EUH066, EUH201A, EUH203, EUH204, EUH205, EUH208	2
		Nenhuma indicação	1
AMBIENTE	Advertências de perigo	H400, H401, H410, H411, H420	3
		H402, H412, H413	2
		Nenhuma indicação	1
	Advertências de perigo adicionais utilizadas apenas na União Europeia	EUH059	3
		Nenhuma indicação	1

P₁ = Pontuação-Fonte: RIBEIRO; YUNE; MACHADO, (2014).

Quadro 3. Critérios para pontuar os princípios da QV para construção da EV

Princípio da QV	Critérios	P
P1 Prevenção	Todos os resíduos são inócuos ($P_1=1$, Quadro 2)	3
	Resíduos pouco tóxicos ($P_1=2$ ou $P_1=2$ e $P_1=1$, Quadro 2)	2
	Formação de pelo menos um resíduo tóxico $P_1=3$, Quadro 2)	1
P2 Economia atômica	Reações sem reagentes em excesso ($\leq 10\%$) e sem formação de coprodutos	3
	Reações sem reagentes em excesso ($\leq 10\%$) e com formação de coprodutos	2
	Reações com reagentes em excesso ($>10\%$) e sem formação de coprodutos	2
	Reações com reagentes em excesso ($>10\%$) e com formação de coprodutos	1
P3 Sínteses menos perigosas	Reações em que todas as substâncias envolvidas são inócuas ($P_1=1$, Quadro 2)	3
	Reações em que todas as substâncias envolvidas são pouco tóxicas ($P_1=2$ ou $P_1=2$ e $P_1=1$, Quadro 2a, 2a ou 3a)	2
	Reações que envolvem pelo menos uma substância tóxica ($P_1=3$, Quadro 2)	1
Princípio da QV	Critérios	P
P5 Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	Os solventes e as substâncias auxiliares envolvidas não existem ou são inócuas ($P_1=1$, Quadro 2)	3
	Os solventes e as substâncias auxiliares envolvidos são pouco tóxicos ($P_1=2$ ou $P_1=2$ e $P_1=1$, Quadro 2)	2
	Pelo menos um dos solventes ou uma das substâncias auxiliares envolvidas são tóxicos ($P_1=3$, Quadro 2)	1
P6 Planificação para conseguir eficácia energética	Temperatura e pressão ambientais	3
	Pressão ambiental e temperatura entre 0°C e 100°C que implique arrefecimento ou aquecimento	2
	Pressão diferente da ambiente e temperatura muito afastada da ambiental	1
P7 Uso de matérias primas renováveis	Todos os reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos são renováveis ($P_1=1$, Quadro 2)	3
	Algum dos reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos é renovável ($P_1=1$ e $P_1=3$, Quadro 2)	2
	Nenhum dos reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos é renovável ($P_1=3$, Quadro 2)	1
P8 Redução de derivatizações	Não se usam derivatizações	3
	Usa-se apenas uma derivatização ou operação semelhante	2
	Usam-se várias derivatizações ou operações semelhantes	1
P9 Catalisadores	Reações em que não é necessário usar catalisadores ou se utilizam catalisadores inócuos ($P_1=1$, Quadro 2)	3
	Reações em se utilizam catalisadores pouco tóxicos ($P_1=2$ ou $P_1=2$ e $P_1=1$, Quadro 2)	2
	Reações em que se utilizam catalisadores tóxicos ($P_1=3$, Quadro 2)	1
P10 Planificação para a degradação	Todos os reagentes, produtos, etc., são degradáveis com os produtos de degradação inócuos ($P_1=1$, Quadro 3)	3
	Todos os reagentes, produtos, etc., que não são degradáveis podem ser tratados para obter a sua degradação com os produtos de degradação inócuos ($P_1=2$, Quadro 3)	2
	Pelo menos um dos reagentes, produtos, etc., não é degradável nem pode ser tratado para obter a sua degradação ($P_1=3$ ou $P_1=3$ e $P_1=1/ P_1=2$, Quadro 3)	1
P12 Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	Atividades em que não pareça haver qualquer risco óbvio de acidente ($P_1=1$, Quadro 2)	3
	Atividades em que há um risco moderado/baixo de acidente, facilmente controlável ($P_1=2$ ou $P_1=2$ e $P_1=1$, Quadro 2)	2
	Atividades em que há um risco elevado de acidente ($P_1=3$ ou $P_1=3$ e $P_1=1/ P_1=2$, Quadro 2)	1

Fonte: RIBEIRO; COSTA; MACHADO, 2010.

7. Construir a EV: a EV é um gráfico radial que pode ser gerado a partir da entrada de dados, como apresentados no Quadro 4, numa planilha eletrônica. A 1ª linha referente a situação ideal e deverá preenchida com o valor 3, a 3ª linha referente a situação execrável com o valor 1 e a 2ª linha, referente a situação analisada (atividade experimental), com os valores obtidos. O número de colunas corresponde ao número de princípios avaliados.

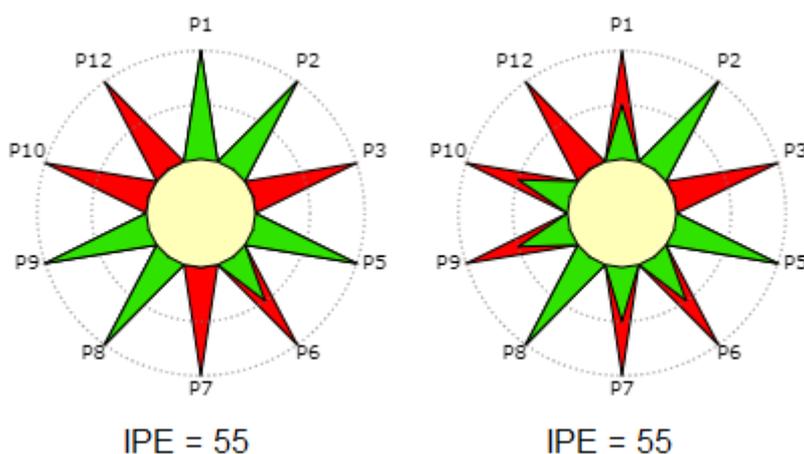
Quadro 4. Quadro de entrada de dados para construção da EV

	Alternativa ↓	Princípios da QV									
	Eixo da EV →	P1	P2	P3	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P12
1ª linha →	Situação Ideal	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2ª linha →	Experimento										
3ª linha →	Situação Execrável	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: Adaptado MACHADO, 2014.

Segundo Costa *et al* (2011), quando temos como objetivo comparar o grau verde (*greenness*) de um conjunto de EV, muitas vezes, a comparação visual é difícil. A Figura 6 apresenta duas EV que visualmente são diferentes, mas tem o mesmo grau verde (*greenness*).

Figura 6. EV com mesma área verde, mesmo IPE (Índice Preenchimento da Estrela)



Fonte: Elaborada pela autora.

O Índice de preenchimento da estrela (IPE) é uma grandeza numérica que expressa a área verde e permite uma comparação mais fácil e precisa. Quanto maior

o IPE maior o grau verde (*greenness*), variando entre o mínimo de zero até 100. O IPE é obtido pela razão da área da estrela pela área da estrela de verdura máxima expresso em percentagem (MACHADO, 2014):

$$IPE = \frac{(\text{área da estrela})}{(\text{área da estrela de verdura máxima})} \times 100$$

3 PERCURSO METODOLÓGICO

Este capítulo apresenta os passos seguidos para a elaboração do produto – sequência didática e os passos seguidos para acompanhar e analisar o desenvolvimento da sequência didática em sala de aula.

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética e Pesquisa UFMG. Os estudantes que se dispuseram a participar assinaram o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) (ANEXO A) e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido pelos pais ou responsáveis (TCLE) (ANEXO B) antes de realizarem as atividades propostas.

3.1 Elaboração da Sequência Didática

Os passos para a construção da sequência didática envolveram a observação de todas as atividades experimentais da disciplina Química Orgânica com o objetivo principal de selecionar uma atividade com maior potencial de contribuir para a elaboração de uma atividade envolvendo os princípios da QV e a utilização da métrica holística da Estrela Verde (*Green Star*).

A observação foi realizada em uma das subturmas composta por 19 alunos do segundo ano do Curso Técnico em Química do Colégio Técnico da Universidade Federal de Minas Gerais (COLTEC-UFMG) do professor Prof. Dr. Gilberto do Vale Rodrigues, também coorientador nesta pesquisa. As aulas foram ministradas uma vez por semana (100 min) no Laboratório de Ensino de Química Orgânica.

As atividades experimentais foram selecionadas pelo professor devido à relevância pedagógica e por abordarem conteúdos previstos no currículo do curso.

O currículo não apresenta atividades experimentais específicas, dando liberdade ao docente para selecionar atividades mais adequadas aos conteúdos programáticos, a saber:

- Determinação da Temperatura de Fusão
- Determinação da Temperatura de Ebulição
- Determinação da Densidade
- Determinação da Refração

- Determinação da Solubilidade
- Extração contínua do óleo de coco
- Destilação simples do solvente da extração
- Reação de saponificação do óleo de coco
- Extração e purificação da cafeína do chá preto
- Cromatografia em camada Delgada CCD
- Destilação fracionada
- Síntese e purificação do ácido acetilsalicílico (aspirina)
- Síntese e purificação da acetanilida
- Identificação dos grupos funcionais

Dentre as atividades acima, selecionamos para a construção da Estrela Verde (*Green Star*) o roteiro para extração e recristalização da cafeína do chá preto (ANEXO C), devido à adaptação proposta pelo professor em função da disponibilidade de solventes.

Para nenhum dos solventes disponíveis, havia quantidade suficiente para as duas subturmas. Sendo assim, cada subturma usou solventes diferentes, mas de propriedades semelhantes. Para cada um dos solventes foi construída uma EV para comparar, definir vantagens e desvantagens de cada um na perspectiva da QV. As EV foram construídas seguindo a metodologia apresentada para sua construção no Capítulo 2, seção 2.6.1.

Optamos por construir a EV como sugerido por Salgado (2014): “Cálculo automático de métricas - Avaliação de Verdura de Reações Químicas”, proposta na página da *internet* “EDUCA – Cultura científica e ensino/aprendizagem da Química”, acessível através do endereço <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>. Essa opção foi feita para avaliar a possibilidade do seu uso na sequência.

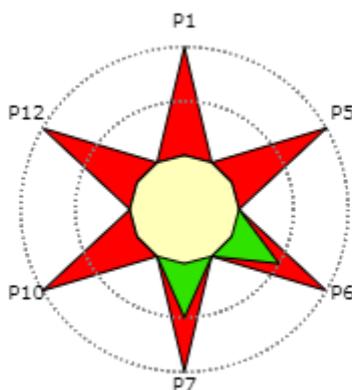
A construção das EV e utilização para análise da atividade experimental, nesta pesquisa, contribuiu para planejar as atividades da SD no sentido de nos ajudar a redigir as etapas para construção da EV pelos alunos.

Buscando compreender o uso da metodologia para planejarmos as atividades da SD, construímos e analisamos um conjunto de EV para a extração da cafeína do chá preto. Iniciamos pelas EV:

- EV 1a: Referente à atividade, utilizando cloreto de metileno como solvente descrito no roteiro original, mas não utilizado por não estar disponível;

- EV 1b: Referente à atividade, utilizando clorofórmio como solvente;
 - EV 1c: Referente à atividade, utilizando 1,2-dicloroetano como solvente
- que apresentaram como resultado gráfico uma EV igual para os três solventes (Figura 7).

Figura 7. Estrela Verde (*Green Star*) para roteiro da atividade experimental (EV 1a = EV 1b = EV 1c)



Fonte: Elaborada pela autora.

A presença de todos os solventes utilizados (etapas de extração e purificação) nessa atividade experimental determinou conjuntamente, de acordo com os critérios estabelecidos e apresentados no Capítulo 2, Seção 2.6.1, a pontuação dos princípios 1, 5, 10 e 12.

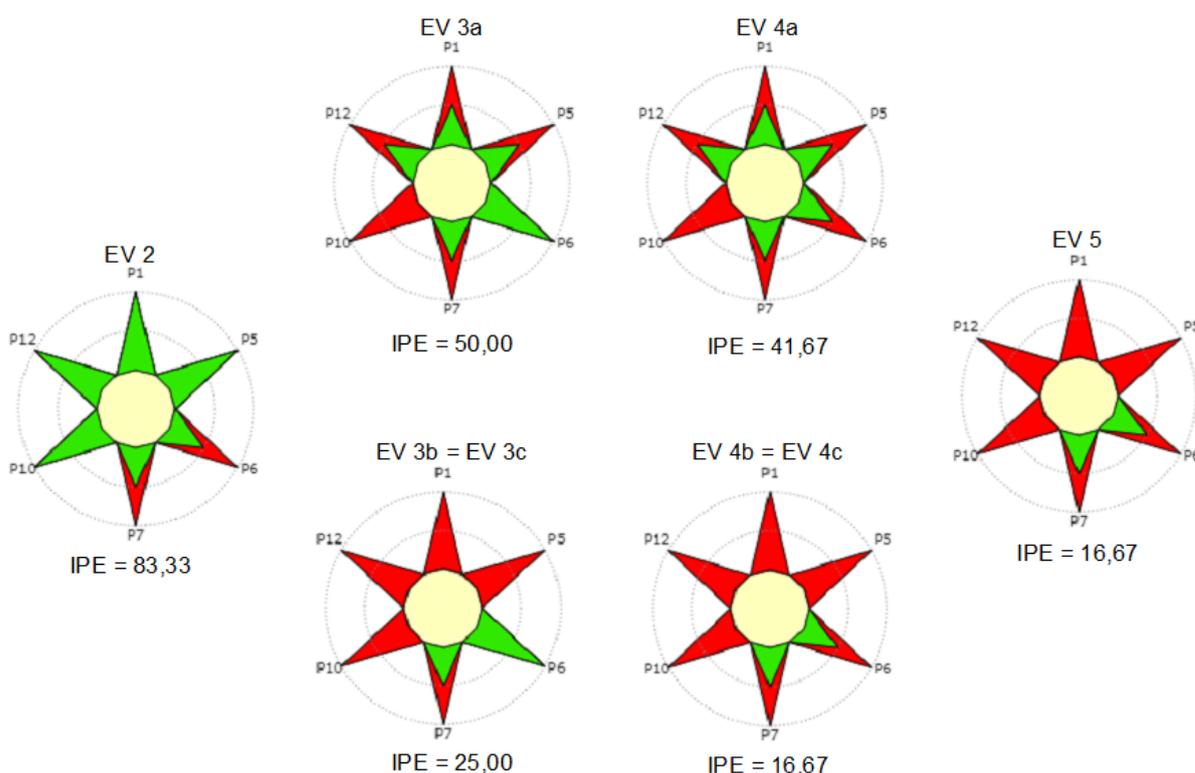
Em uma visão global, a Figura 7 mostra que na análise com a ferramenta EV, pelo menos um dos solventes propostos na atividade apresenta um perigo elevado (pontuação 1, pior situação). Aquecimento entre 0°C a 100°C e pressão ambiente, condições de realização da atividade, determinou a pontuação 2 (situação aceitável) ao princípio 6. A presença de pelo menos uma substância renovável na atividade determinou a pontuação 2 ao princípio 7.

Para complementar o resultado obtido com a ferramenta EV (Figura 7), analisamos separadamente as etapas da atividade: 1) Obtenção do extrato aquoso; 2) Extração da cafeína; 3) Recuperação do solvente (separação solvente/produto); 4) Recristalização (purificação). Obtivemos as EV, assim nomeadas e apresentadas na Figura 8:

- EV 2: Referente à atividade de obtenção do extrato aquoso;
- EV 3a: Referente à extração da cafeína com cloreto de metileno;
- EV 3b: Referente à extração da cafeína com clorofórmio;

- EV 3c: Referente à extração da cafeína com 1,2-dicloroetano;
- EV 4a: Referente à recuperação do solvente cloreto de metileno;
- EV 4b: Referente à recuperação do solvente clorofórmio;
- EV 4c: Referente à recuperação do solvente 1,2-dicloroetano;
- EV 5: Referente à recristalização.

Figura 8. EV para as etapas da extração da cafeína do chá preto



Fonte: Elaborada pela autora.

A análise da EV 2, apresentada na Figura 8, mostra que todas as substâncias utilizadas nesta etapa são inócuas, o que determinou grau verde (*greenness*) máximo (situação ideal) para os princípios 1, 5, 10 e 12. No que se refere aos solventes utilizados na etapa da extração e destilação (1,2-Dicloroetano e Clorofórmio) a inspeção visual das Estrelas Verdes EV 3b, EV 3c (Extração) e EV 4b, EV 4c (Destilação) na Figura 8, permite concluir que cada um dos solventes apresenta pelo menos um perigo elevado (pontuação 1, pior situação). A Estrela Verde EV 3a (Extração) e EV 4a (Destilação) na Figura 8, referente ao solvente Cloreto de metileno

apresenta perigo moderado (pontuação 2, situação aceitável com algumas restrições), indicando que este solvente apresenta um grau verde maior comparado ao 1,2-Dicloroetano e Clorofórmio. No conjunto de solventes utilizados na recristalização, EV 5, Figura 8 (Éter de petróleo e Tolueno) a análise permite concluir que pelo menos um dos solventes apresenta um perigo elevado.

Em suma, ao utilizar a ferramenta EV, verificamos que a natureza gráfica permite verificar quais dos 12 princípios da QV foram atendidos e quais podem ser aperfeiçoados na atividade experimental (global e em cada etapa), de modo visual e rapidamente, por uma comparação semiquantitativa.

Como a ferramenta utiliza os códigos que classificam as substâncias de acordo com seus perigos intrínsecos, segundo a regulamentação do Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS) obtidos nas Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) como critério para pontuar os perigos, embora não evidencie, no gráfico, qual(ais) da (s) substância(s) determinaram a pontuação, a utilização das FISPQ proporciona um leque de informações de segurança e detalhada das substâncias da atividade, trazendo informações sobre nocividade e risco de acidentes no manuseio das substâncias.

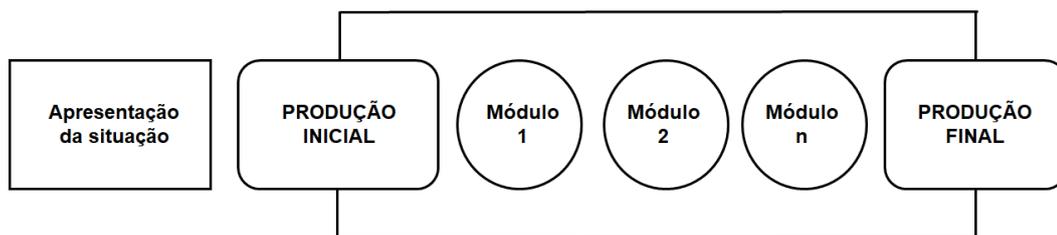
No que se refere ao uso do Cálculo automático de métricas - Avaliação de Verdura de Reações Químicas”, proposta na página da *internet* “EDUCA – Cultura científica e ensino/aprendizagem da Química”, acessível através do endereço <http://educa.fc.up.pt/avaliacaoverdura/>, não consideramos viável a sua utilização na SD porque os dados não podem ser gravados, não permitindo ao professor acompanhar as etapas da elaboração da EV pelo aluno (inventário das substâncias, pesquisa dados FISPQ, pontuação dos perigos e dos princípios). Só é possível gravar o gráfico EV obtido.

A partir das observações, das leituras e discussões realizadas, seguimos com o processo de elaboração da sequência didática (SD).

Segundo Zabala (1998) e Dolz; Schneuwly (2004), uma sequência didática (SD) é um conjunto de atividades escolares organizadas, de maneira sistemática, em torno de um conteúdo que envolve determinado tema.

A sua estrutura base pode ser representada pelo Figura 9.

Figura 9. Esquema da sequência didática



Fonte: Dolz; Schneuwly, 2004.

A apresentação da situação é o momento no qual é descrito o propósito da realização da SD, ou seja, o que é esperado como produção final. A produção inicial permitirá ao professor avaliar as capacidades já adquiridas e ajustar as atividades e exercícios na sequência de acordo com as possibilidades e dificuldades de uma turma (DOLZ; SCHNEUWLY, 2004). Nesse sentido, propusemos as questões da Atividade 1, para que os alunos produzissem o primeiro material escrito (Atividade 1, ANEXO D).

Os módulos constituídos por várias atividades ou exercícios, darão aos alunos os instrumentos para a produção final (DOLZ; SCHNEUWLY, 2004). Nossa opção foi elaborar três atividades para alcançar esse propósito (Atividades 2, ANEXO E, Atividade 3, ANEXO F e atividade 4, ANEXO G).

Na produção final o aluno pode pôr em prática os conhecimentos adquiridos e, com o professor, medir os progressos alcançados. Para o professor, a produção final serve para (re)avaliar a sua SD (DOLZ; SCHNEUWLY, 2004). Propusemos as questões na Atividade 5 para a produção final. (Atividade 5, ANEXO H).

Levando em consideração os avanços tecnológicos e a familiaridade que os professores/alunos do curso técnico têm com as tecnologias e, ainda, a disponibilidade desses recursos nos cursos técnicos, desenvolvemos as atividades para serem realizadas em computadores com acesso à *internet*. Optamos pelo *Google Drive* como recurso para construir e compartilhar as atividades com os alunos que fizeram a edição/alteração do arquivo respondendo às atividades. Com esse recurso as atividades ficam disponíveis para o professor/pesquisador em tempo real, editadas no aplicativo *Google Forms*. Com essa ferramenta, foi possível criar um formulário/atividade, enviar o *link* ao aluno, permitindo o seu acesso. Após a realização da atividade pelo aluno, o professor/pesquisador tem acesso a uma planilha gerada, assim que os alunos respondem as questões, com todas as respostas.

3.2 Desenvolvimento e Análise da Sequência Didática em Sala de Aula

Nesta etapa aplicamos a SD para um grupo de vinte e sete alunos, subturmas A e B (2º semestre de 2018). Foram utilizadas duas aulas de 100 min, cedidas pelo professor, por cada subturma, para a realização das cinco atividades propostas. A SD foi iniciada na semana posterior à realização do experimento Extração da Cafeína do chá preto pelos estudantes.

Para análise do desenvolvimento da SD em sala de aula, optamos pela Análise Textual Discursiva (ATD), uma metodologia de análise qualitativa de informações textuais (MORAES E GALIAZZI, 2013). Ela se configura na perspectiva de pesquisa qualitativa por apresentar as seguintes características de uma investigação qualitativa: a) a fonte direta de dados é o ambiente natural, cabendo ao pesquisador um papel fundamental; b) é descritiva; c) o interesse está mais focado no processo do que nos resultados; d) há uma tendência de análise dos dados de forma indutiva (BOGDAN e BIKLEN, 1994).

Para Moraes e Galiazzi (2013), a ATD tem o seu início pela definição do *corpus* da análise, ou seja, do conjunto de produções que serão investigadas. A primeira etapa desse processo é a unitarização, que consiste na desmontagem dos textos, na fragmentação do *corpus* da pesquisa de modo a, posteriormente, agrupar essas unidades de significado, estabelecendo relações, combinações e as classificações sobre o que é comum. Essa etapa constitui a categorização. As categorias podem ser estabelecidas *a priori* a partir do referencial teórico ou emergir a partir da unitarização. Na terceira etapa, a partir das categorias, se produz o metatexto que possibilita novas compreensões sobre a problemática em questão (MORAES e GALIAZZI, 2013).

Tendo em vista a grande quantidade de dados disponíveis, definimos como *Corpus* da análise deste trabalho a Atividade1 (ANEXO D) e Atividade 5 (ANEXO H) que constituem a produção inicial e a produção final dos estudantes.

As produções iniciais dos estudantes, nas palavras de Dolz e Schneuwly, (2004), “para o professor, constituem momentos privilegiados de observação, que permitem refinar a sequência, modulá-la e adaptá-la de maneira mais precisa às capacidades reais dos alunos de uma turma”. Seleccionamos os Princípios da Química

Verde 1, 5, 6, 7,10 e 12 da Questão Q1, Atividade 1 (ANEXO D). Este recorte foi feito tendo em vista:

- i) os princípios analisados, na Atividade 5 utilizando o gráfico EV construído pelos alunos na produção final;
- ii) a enorme quantidade de dados disponíveis;
- iii) a limitação de tempo para a finalização deste texto.

A partir das contribuições de Dolz e Schneuwly (2004), escolhemos incluir a Atividade 5 (ANEXO H), produção final, como *corpus* de análise. Para o autor, produção final permite ao professor realizar uma avaliação da SD, observar as aprendizagens efetuadas, planejar a continuação do trabalho, permitindo retorno a pontos que não foram suficientemente assimilados (DOLZ; SCHNEUWLY, 2004).

Após delimitarmos o *corpus* da análise, antes de iniciar a unitarização, foi necessário criar um sistema de codificação para não perder a origem das informações. Para identificar cada estudante, utilizamos o código de (E1) a (E27); para as atividades (At1) a (At5); para as questões (Q1) a (Q12) e para as respostas (R1) a (R12). A análise das respostas de cada aluno foi realizada com o destaque de palavras-chave, em relação à pergunta, assinaladas em **negrito sublinhado** no próprio texto, e a unitarização elaborada a partir das palavras-chave destacadas. O Quadro 5 ilustra o sistema de codificação proposto.

Quadro 5. Sistema de codificação

At1: Atividade 1	
Q1: Questão 1	Princípio 1 - Prevenção de Resíduos: É mais barato evitar a formação de resíduos tóxicos do que tratá-los depois que eles são produzidos. Questão 1. Indicar se esse Princípio da Química Verde pode, ou não, ser discutido/medido/analísado a partir do roteiro do experimento realizado por você na aula prática de Química Orgânica: “Extração da Cafeína do chá preto”. Justificar a sua resposta.
R1E1: Resposta para a Questão 1 dada pelo EstudanteE1	¹ <i>Sim. Apesar da <u>cafeína</u> em <u>grandes quantidadessser nociva</u>, não é dissolvida em água e não é possível evitar a sua formação no processo, não é tóxica, assim como os <u>outros reagentes formados</u>.</i>
Unitarização At1/Q1/R1E1	- A prevenção de resíduos pode ser discutida/medida/analísada porque a Cafeína, em pequenas quantidades, não é tóxica. - A prevenção de resíduos pode ser discutida/medida/analísada porque não formou reagentes tóxicos
Categoria	Prevenção de Resíduos.

Obs: ¹ Transcrição das respostas dos alunos.

A partir das contribuições de Anastas e Eghbali (2010) a respeito dos Doze Princípios da QV e de Machado (2014) e Ribeiro *et al* (2010) referentes à métrica EV, foram estabelecidas as categorias de análise para as respostas das Questões 1, 5, 6, 7,10,12 da Atividade 1 (ANEXO D).

São nossas premissas:

1. o entendimento que os Doze Princípios da QV são as diretrizes que fornecem a estrutura para um planejamento sustentável nos processos e transformações químicas (ANASTAS, EGHBALI, 2010; MACHADO, 2014);
2. um processo ou produto baseado na integração dos princípios da QV reduzirá ou eliminará os riscos à saúde humana e do ambiente (ANASTAS, EGHBALI, 2010);
3. a métrica EV é uma ferramenta que auxilia a avaliação dos princípios no contexto do laboratório de ensino (RIBEIRO *et al*, 2010).

Desse modo, estabelecemos, *a priori*, seis categorias:

1. *Prevenção de resíduos;*
2. *Solventes e auxiliares seguros;*
3. *Eficiência energética;*

4. *Fontes renováveis de matéria prima;*
5. *Produtos degradáveis;*
6. *Química segura (Prevenção de acidentes).*

Após a leitura do *corpus*, respostas dos alunos para as questões propostas nas atividades da SD, produzimos e organizamos os dados, a partir das categorias definidas *a priori*.

A partir destas categorias, produzimos o metatexto. Para Moraes e Galiazzi (2013), o metatexto é a ponte entre as categorias estabelecidas, através da reflexão atenta do pesquisador, sobre as informações obtidas, construindo-se uma “tese” de sua compreensão. Após a elaboração do metatexto, fizemos sua leitura em conjunto com o professor que teve a liberdade para contribuir com o que considerasse necessário, excluir ou incluir informações, fazer comentários.

Assim, finalmente poderemos fazer algumas considerações no tocante ao processo de elaboração deste material, sua recepção pelos estudantes e possibilidades de uso por outros professores.

4 ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA EM SALA DE AULA

Por meio desta análise buscamos acompanhar e discutir o desenvolvimento da SD em sala de aula de forma a avaliarmos o material didático produzido e procedermos os ajustes necessários

As atividades da SD foram elaboradas para que o estudante utilizasse a ferramenta da EV para avaliar o grau verde (*greenness*) de um procedimento experimental.

As atividades foram desenvolvidas em sala com computadores e *internet* em número suficiente para uso individual. Esse recurso é imprescindível, pois para realização das questões é necessário que o aluno pesquise informações na *web* (*World Wide Web*). Durante a execução das atividades os estudantes tiveram auxílio do professor da disciplina e do pesquisador.

Trabalhamos com a turma organizada em dois grupos de 15 e de 12 alunos, em dias diferentes. Cada grupo realizou as atividades 1 e 2 em uma aula e as atividades 3, 4 e 5 em outra, totalizando 200 minutos para cada grupo.

4.1 Análise da Atividade 1

Na atividade 1, os estudantes indicaram e justificaram quais dos Doze Princípios da Química Verde poderiam ser verificados no experimento realizado, considerando o que foi vivenciado no laboratório e o texto apresentado na SD, que descrevia sucintamente os Doze Princípios da Química Verde.

Os alunos realizaram essa atividade com bastante autonomia, mínima intervenção da pesquisadora e do professor. A análise da atividade nos oferece um panorama inicial dos posicionamentos dos estudantes no que diz respeito à relação entre os princípios e o experimento.

A **primeira categoria** analisada exprime os objetivos do primeiro dos Doze Princípios da Química Verde - **Prevenção de Resíduos**: é melhor evitar a formação de resíduos do que tratá-los após a sua formação (ANASTAS e WARNER, 1998).

Consideramos como resíduos materiais excedentes e que serão descartados após a realização da atividade experimental. Dessa forma, no experimento analisado, foram gerados os seguintes resíduos tóxicos: 1,2-dicloroetano, tolueno e éter de petróleo. Aproximadamente 90% de 1,2-dicloroetano foi recuperado no processo a partir de uma destilação simples para posterior reutilização. Então temos aproximadamente 8 mL de 1,2-dicloroetano, 3 mL de tolueno e gotas de éter de petróleo como resíduos tóxicos. Os demais resíduos gerados eram inócuos. Sendo assim, o Princípio 1 se aplica na atividade.

O Quadro 6 apresenta a percepção dos alunos quanto a possibilidade de discutir/medir/analisar, ou não, o princípio na atividade experimental. Para o Princípio 1 constatamos que 70% dos alunos responderam (sim), o que nos indica que a maioria dos estudantes parece compreender que independentemente do tipo de resíduo gerado podemos discutir/medir/analisar o quanto o experimento atende, ou não, ao princípio.

Quadro 6. Resposta dos alunos quanto a verificação do princípio 1 na atividade experimental

Princípio 1 pode ser discutido/medido/analísado?		
Resposta	Sim	Não
Nº. alunos	19	8
Porcentagem ¹ (%)	70	30

Obs. ¹As porcentagens foram calculadas a partir do número total de alunos (27).

O Quadro 7 apresenta as unidades de significado para categoria Prevenção de Resíduos obtidas pela análise textual discursiva (ATD).

Quadro 7. Unidades de significado para categoria Prevenção de Resíduos

Categoria	Unidade de Significado	Frequência	Porcentagem¹ (%)
Prevenção de Resíduos	Formou resíduo	4	14
	Não formou resíduo tóxico	17	59
	Formou resíduo tóxico	5	17
	Formou resíduo tóxico que foi reutilizado	3	10
	Total	29	100

Obs: ¹As porcentagens foram calculadas a partir dos números de unidades.

Embora tenha formado resíduo tóxico durante a atividade experimental, o Quadro 7 mostra a frequência de 59% para a unidade de significado “não formou

resíduos tóxicos”. Podemos nos perguntar sobre essa percepção dos estudantes: Ao considerarem a “não formação de resíduo tóxico”, os estudantes estão admitindo que quantidades “pequenas dos resíduos formados” não são prejudiciais ao ambiente? Desconhecem a toxicidade das substâncias utilizadas ou consideram que todo o solvente foi recuperado com a destilação e, portanto, o solvente não seria considerado resíduo? Outro aspecto apontado pelo professor da turma é a compreensão de reagentes e produtos em uma atividade experimental. Ao extrair a cafeína do chá preto, não houve “formação de produto, como resultado de uma reação”. Os solventes, água, agente secante e carbonato são substâncias adicionadas durante o procedimento e que após o uso tornam-se resíduos. Entretanto, ao usarmos o termo “formação de resíduos”, o aluno pode ter associado esse termo ao termo “formação de produto de uma reação” dificultando a classificação desses materiais como resíduo.

A partir das unidades de significado que emergiram, é possível compreender a necessidade de se colocar em discussão o fato de que os resíduos podem assumir muitas formas e afetar o ambiente de maneiras diferentes, dependendo de sua natureza, toxicidade, quantidade ou do modo como são liberados. Quando não se pode evitar a formação de subprodutos e de outras substâncias, como os solventes, processos inovadores devem ser considerados. É importante discutir a necessidade de se buscar uma abordagem que evite o desperdício (ANASTAS e EGHBALI, 2010).

A **segunda categoria** refere-se aos objetivos do quinto dos Doze Princípios da Química Verde -**Uso de Solventes e Auxiliares Seguros**: Auxiliares como solventes, agentes de purificação e secantes precisam ser evitados ao máximo; quando inevitável, devem ser inócuos ou reutilizados (ANASTAS e WARNER, 1998).

No experimento, foram utilizados como substâncias auxiliares sulfato de sódio e carbonato de cálcio, substâncias inócuas. Como solvente foram utilizados 1,2-dicloroetano, tolueno e éter de petróleo.

O Quadro 8 apresenta a percepção dos alunos quanto à possibilidade de discutir/medir/analisar, ou não, o Princípio 5 na atividade experimental. Verificamos que 85% dos alunos responderam(sim), ou seja, a maioria conseguiu perceber, que nessa atividade experimental podemos verificar se o uso destas substâncias atende a meta proposta pelo princípio.

Quadro 8. Resposta dos alunos quanto a verificação do Princípio 5 na atividade experimental

Princípio 5 pode ser discutido/medido/analísado?		
Resposta	Sim	Não
Nº. alunos	23	4
Porcentagem ¹ (%)	85	15

Obs. ¹As porcentagens foram calculadas a partir do número total de alunos (27).

O Quadro 9 apresenta as unidades de significado para categoria Uso de Solventes e Auxiliares Seguros obtidas pela análise textual discursiva (ATD).

Quadro 9. Unidades de significado para categoria Uso de Solventes e Auxiliares Seguros

Categoria	Unidade de Significado	Frequência	Porcentagem¹ (%)
Uso de Solventes e Auxiliares Seguros	Utilizou solventes e auxiliares.	13	31
	Utilizou solventes tóxicos.	10	24
	Utilizou agentes auxiliares inócuos.	3	7
	Reutilizou solvente	8	19
	Reutilizou solvente tóxico.	8	19
	Total	42	100

Obs: ¹As porcentagens foram calculadas a partir dos números de unidades.

O Quadro 9 apresenta um panorama geral da percepção dos estudantes sobre os solventes e substâncias auxiliares quanto à toxicidade. Do conjunto de substâncias manipuladas durante a atividade, são inócuas todas as auxiliares, porém a unidade de significado “Utilizou agentes auxiliares inóculos” apresentou a frequência de 7%. Apesar de todos os solventes serem tóxicos, verificamos a frequência de 24% para unidade de significado correspondente e a frequência de 19% para a unidade de significado “reutilizou solvente tóxico”.

A partir das frequências das unidades de significado da categoria - Uso de Solventes e Auxiliares Seguros - percebemos a relevância de propor questões para discussão sobre o Princípio 5 a partir desta atividade, uma vez que, em várias atividades experimentais utilizamos solventes e auxiliares. Os solventes são aquecidos, destilados, misturados, filtrados, etc. Antes de serem, ou não, reutilizados. Se eles não são reutilizados, eles são frequentemente incinerados. Muitos solventes convencionais são tóxicos, inflamáveis e/ou corrosivo. Estas substâncias, em alguns casos, são responsáveis por grande massa desperdiçada (resíduos) na execução das atividades. A discussão deste princípio pode proporcionar aos estudantes

oportunidades de adquirir conhecimento sobre a toxicidade, uso e perigo intrínsecos dessas substâncias.

A **terceira categoria** esclarece a meta do sexto dos Doze Princípios da Química Verde - **Eficiência Energética**: a utilização de energia pelos processos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos (ANASTAS e WARNER, 1998).

No procedimento experimental foram utilizadas como fontes de energia: chapa de aquecimento e manta. O Quadro 10 apresenta à percepção dos alunos quanto a possibilidade de verificar, ou não, o Princípio 6 na atividade experimental. A maioria dos estudantes, 85%, afirma que o princípio pode ser verificado no experimento.

Quadro 10. Resposta dos alunos quanto a verificação do princípio na atividade experimental

Princípio 6 pode ser discutido/medido/analísado?		
Resposta	Sim	Não
Nº. alunos	23	4
Porcentagem ¹ (%)	85	15

Obs. ¹As porcentagens foram calculadas a partir do número total de alunos (27).

Quadro 11. Unidades de significado para categoria Eficiência Energética

Categoria	Unidade de Significado	Frequência	Porcentagem¹ (%)
Eficiência Energética	Utilização pouca energia	12	54,5
	Diminuir gasto de energia não realizando destilação (evaporar solvente temperatura ambiente)	6	27
	Uso de energia inevitável	3	14
	Utilizou muita energia	1	4,5
	Total	22	100

Obs: ¹As porcentagens foram calculadas a partir dos números de unidades.

O Quadro 11 apresenta as unidades de significado para categoria Eficiência Energética obtidas pela análise textual discursiva (ATD). A partir dos dados do desse, observamos que frequência de 54,5% para o termo “utilizou pouca energia” e a frequência de 14% para o termo “uso de energia inevitável” refere-se ao uso da chapa para a realização extração aquosa e da manta no processo de destilação do solvente.

A frequência de 27% do termo “não realizar destilação, evaporar o solvente a temperatura ambiente”, aponta uma possibilidade percebida pelos estudantes para atender ao Princípio 6. Podemos inferir que o aluno ao propor esta solução não

questionou que ela contraria o Princípio 1 pois “evaporar” significa lançar resíduo no ambiente.

O surgimento da unidade de significado “Diminuir gasto de energia não realizando destilação (evaporar solvente temperatura ambiente)” aponta possibilidades de ampliar a discussão sobre a importância de analisar uma reação ou processo durante uma atividade experimental, não apenas do ponto de vista da energia, mas também de muitos ângulos quando buscamos atender as metas da QV. Por trás da proposta “evaporar um solvente” existem outras questões: os solventes contribuíram para a poluição do ar, da água e da terra? Contribuem com o aumento do risco acidentes? Como é realizada a sua recuperação e a reutilização? A sua recuperação é frequentemente associada à destilação com uso intensivo de energia? Essas e outras questões podem proporcionar aos estudantes refletir sobre os Princípios em jogo na atividade experimental pontual e globalmente.

A **quarta categoria** descreve as diretrizes do sétimo dos Doze Princípios da Química Verde - **Fontes Renováveis de Matéria-Prima**: O uso de biomassa como matéria-prima deve ser priorizado no desenvolvimento de novas tecnologias e processos (ANASTAS e WARNER, 1998).

No procedimento experimental, foram utilizados materiais renováveis e não renováveis. A matéria-prima (chá preto) para a extração do produto (cafeína) é proveniente de uma fonte renovável, assim como a água. Os outros materiais utilizados (solventes, agentes auxiliares e secantes) são produzidos a partir de material não renovável.

Pelo que podemos constatar no Quadro 12, 74% dos estudantes concordam que o Princípio 7 - Fontes Renováveis de Matéria-Prima- pode ser discutido/medido/analísado no experimento.

Quadro 12. Resposta dos alunos quanto a verificação do princípio na atividade experimental

Princípio 7 pode ser discutido/medido/analísado?		
Resposta	Sim	Não
Nº. alunos	20	7
Porcentagem ¹ (%)	74	26

Obs. ¹As porcentagens foram calculadas a partir do número total de alunos (27).

A partir das informações apresentadas no Quadro 13 que traz as unidades de significado para categoria Fontes Renováveis de Matéria Prima obtidas pela análise textual discursiva (ATD), verificamos que a frequência do termo “utilizou material

renovável” de 77% pode expressar uma visão dos estudantes com foco na matéria-prima (chá preto) que forneceu o produto (cafeína); e a frequência de 23% refere-se ao termo “não utilizou material renovável” pode refletir o uso das substâncias não renováveis ou que o aluno não identificou o chá preto como matéria prima renovável.

Quadro 13. Fontes Renováveis de Matéria Prima

Categoria	Unidade de Significado	Frequência	Porcentagem¹ (%)
Fontes renováveis de matéria prima	Não utilizou material renovável.	6	23
	Utilizou material renovável.	20	77
	Total	26	100

Obs: ¹As porcentagens foram calculadas a partir dos números de unidades.

Avaliar um experimento que utiliza matéria-prima de fonte renovável (chá preto) e também derivados do petróleo (solventes orgânicos) pode oportunizar aos estudantes o entendimento do Princípio 7 por abordar o grande desafio técnico na substituição de matérias primas não renováveis por renováveis.

A **quinta categoria** refere-se à meta do décimo dos Doze Princípios da Química Verde - **Produtos Degradáveis**: Os produtos químicos precisam ser projetados para a biocompatibilidade. Após utilização não deve permanecer no ambiente, degradando-se (ANASTAS e WARNER, 1998).

Conforme dados do Quadro 14, para 78% dos alunos, este princípio pode ser analisado na atividade experimental.

Quadro 14. Resposta dos alunos quanto a verificação do princípio na atividade experimental

Princípio 10 pode ser discutido/medido/analísado?		
Resposta	Sim	Não
Nº. alunos	21	6
Porcentagem ¹ (%)	78	22

Obs. ¹As porcentagens foram calculadas a partir do número total de alunos (27).

O Quadro 15 apresenta as unidades de significado para categoria Produtos Degradáveis obtidas pela análise textual discursiva (ATD).

Quadro 15. Unidades de significado para categoria Produtos Degradáveis

Categoria	Unidade de Significado	Frequência	Porcentagem¹ (%)
Produtos Degradáveis	Descarte produtos degradáveis	12	70,5
	Analisar materiais para descarte	4	23,5
	Materiais gerados degradáveis	1	6
	Total	17	100

Obs: ¹As porcentagens foram calculadas a partir dos números de unidades.

A frequência da unidade 70.5%, apresentada no Quadro 15, reflete a percepção dos estudantes dos materiais degradáveis descartados no lixo comum. Conforme a fala do estudante E 23, “*A maioria dos resíduos foi descartada no lixo comum ou jogados na pia*”. Os alunos não relataram o descarte do tolueno, éter de petróleo e 1,2-dicloroetano pelo sistema de exaustão da capela no ambiente.

A fala do estudante E9, “*Os produtos foram descartados ao meio ambiente, mas o mesmo não causaria danos ao meio ambiente*” e do E 25, “*Os produtos dessa reação não foram descartados na natureza*”, não esclarecem a quais produtos estão se referindo, uma vez que a atividade experimental utilizou produtos degradáveis (descartados na pia) e uma pequena quantidade dos não degradáveis (descartados pelo sistema de exaustão da capela).

Para a categoria Produtos Degradáveis, a frequência de 23,5% da unidade de significado aponta a percepção dos estudantes diante da necessidade de analisar os materiais antes do descarte. Esse dado pode demonstrar que alguns estudantes percebem a necessidade de compreender e escolher antecipadamente os caminhos para liberação dos materiais.

A atividade experimental realizada permite avaliação do Princípio 10 que orienta projetos de produtos que se degradam após sua função comercial, a fim de reduzir o risco ou a probabilidade de ocorrência de danos, oportuniza discussão do risco que está associado tanto ao perigo inerente de uma substância quanto a exposição - contato entre uma substância química e ambiente. Utilizar substâncias degradáveis ou que podem ser tratadas para obter a sua degradação pode eliminar a exposição significativa, minimizando assim o risco, para a saúde do homem e do ambiente.

A **sexta categoria** apresenta a meta do último dos Doze Princípios da Química Verde - **Química Segura (Prevenção de acidentes)**: A escolha das substâncias, bem como sua utilização em processos químicos, deve procurar a minimização do risco de acidentes (ANASTAS e WARNER, 1998).

A partir da análise dos dados do Quadro 16, observamos que 78% dos estudantes consideraram o princípio aplicável ao experimento.

Quadro 16. Resposta dos alunos quanto a verificação do princípio na atividade experimental

Princípio 12 pode ser discutido/medido/analísado?		
Resposta	Sim	Não
Nº. alunos	21	6
Porcentagem ¹ (%)	78	22

Obs. ¹As porcentagens foram calculadas a partir do número total de alunos (27).

O meio mais eficaz de aumentar a segurança é eliminar o componente de risco. Dentre os fatores de risco em uma atividade experimental estão as substâncias. Os dados no Quadro 17, que traz as unidades de significado para categoria Química Segura obtidas pela análise textual discursiva (ATD), mostram a frequência de 21% para a unidade de significado nas respostas dos estudantes que consideraram que as substâncias utilizadas não apresentam risco. A mesma porcentagem, 21%, identificam a percepção dos estudantes da presença de substâncias que apresentam algum risco. A frequência de 33% da unidade de significado “Utilizou EPIs e EPC” indica a percepção de alguns dos estudantes sobre o uso dos equipamentos de proteção individual (EPIs) e equipamentos de proteção coletiva (EPC). Esse dado pode indicar que alguns alunos não consideram o risco intrínseco a substância, apesar do uso dos EPIs e EPC. Portanto, para entendimento do Princípio 12, estudantes podem começar por identificar e avaliar os perigos, sejam eles toxicidade, riscos físicos, como explosão ou inflamabilidade, e riscos ambientais das substâncias, contribuindo para a prática da Química segura, meta da QV (ANASTAS e EGHBALI, 2010).

Quadro 17. Unidades de significado para categoria Química Segura (Prevenção de Acidentes)

Categoria	Unidade de Significado	Frequência	Porcentagem¹ (%)
Química Segura (Prevenção de Acidentes)	Utilizou EPIs e EPC	8	33
	Algumas substâncias utilizadas apresentam riscos	5	21
	A prática não apresentava riscos	2	8
	Não ocorreu acidentes	4	17
	Utilizou substâncias seguras	5	21
	Total	24	100

Obs: ¹As porcentagens foram calculadas a partir dos números de unidades.

Por meio da análise das respostas dos estudantes foi possível identificar como compreenderam e correlacionaram cada um dos doze princípios da QV a partir da atividade experimental, contribuindo para o planejamento da SD.

Os princípios foram apresentados em um texto introdutório, descrevendo-os sucintamente. Não houve uma explicação de cada um dos princípios, usando analogias ou exemplos para mostrar porque o princípio é importante e como podem ser aplicados em uma atividade experimental. Neste contexto, a maioria dos estudantes respondeu que todos os princípios podem ser discutidos/medidos/analísados a partir do roteiro do experimento, justificando a resposta.

Este cenário apontou a necessidade de uma discussão sobre os princípios para melhor compreensão e para elucidar o número de fatores que devemos considerar ao analisar uma atividade na perspectiva da QV. Por exemplo, os produtos que vamos obter são tóxicos? Serão obtidos a partir de uma síntese? Eles podem ser descartados com segurança? Usamos substâncias nocivas ou solventes durante a atividade? Houve desperdício de materiais?

No contexto desta pesquisa, 12 a 14 alunos por laboratório, foi possível conversar com os alunos organizados em dupla ou trio, e realizar brevemente esta discussão. Com este momento conseguimos esclarecer dúvidas sobre o entendimento dos princípios. Com todos os alunos, dialogamos sobre o porquê dos princípios 4 e 11 não se aplicarem na análise de atividades do ensino e quais poderiam, ou não, ser avaliados na extração da cafeína.

No desenvolvimento da SD, esta discussão se faz necessária antes que os estudantes realizem a atividade 3. Para a extração da cafeína, ou outra atividade experimental, é importante que estejam claros para os alunos, os princípios que serão avaliados e porquê. Para a extração da cafeína é importante discutir o:

- Princípio 1 porque na execução da atividade serão produzidos resíduos tóxicos e inócuos;
- Princípio 5 porque serão utilizados solventes, agentes secantes e de purificação (inócuos e tóxicos)
- Princípio 6 porque haverá gasto de energia;
- Princípio 7 porque serão utilizadas matérias-primas de fontes renováveis e não renováveis;
- Princípio 10 para verificar se os produtos químicos utilizados foram projetados para serem degradados ou se podem ser tratados a produtos inócuos.

- Princípio 12 para verificar se as substâncias apresentam potenciais de acidentes químicos.

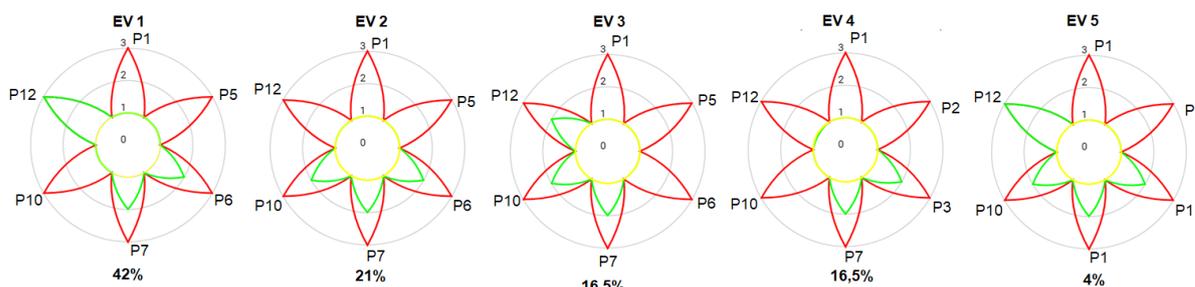
A análise nos permitiu reconhecer a maneira/linguagem do aluno expressar o seu conhecimento e opinião sobre: resíduos, resíduos tóxicos, produtos degradáveis, química segura.

4.2 Análise do conteúdo da Atividade 5

Na atividade 5, os estudantes avaliaram o caráter verde da atividade experimental por meio da metodologia da Estrela Verde, observando quais dos seis princípios foram contemplados ou quais devem ser reconsiderados para aumentar o grau verde (*greenness*) do experimento. A partir desta verificação, foi solicitado aos estudantes, que propusessem alternativas para esverdear o procedimento experimental.

Como podemos observar por meio da Figura 10, os vinte e quatro alunos obtiveram seis Estrelas Verdes diferentes para o procedimento experimental. A EV 1, obtida por 42% dos alunos, podemos observar que todos os princípios foram pontuados corretamente, exceto o P6, que deveria receber pontuação 3 (ausência total de verdura, caso maligno) recebeu pontuação 1 (plenamente verde, caso ideal, benigno). EV 2, obtida por 21% dos alunos, todos os princípios foram pontuados corretamente. EV 3, obtida por 16,5% dos alunos, o princípio P3 deveria ter recebido pontuação 2 (moderadamente verde, aceitável com algumas restrições) e não pontuação 3 e os princípios P10 e P12 deveriam ter recebido pontuação 3 e não pontuação 2. EV 4, obtida por 16,5% dos alunos, corresponde a EV correta para o experimento. EV 5, obtida por 4% dos alunos, os princípios P10 recebeu pontuação 2 e não o valor esperado, 3. O princípio P12 recebeu pontuação 3 e não valor 1 esperado.

Figura 10. Estrelas Verdes construídas pelos alunos



Fonte: Elaborada pela autora.

Essas Estrelas Verdes (Figura 10) nos permitem observar como os alunos pontuaram cada um dos princípios. Para relacionar a EV à pontuação atribuída a cada princípio e o número de estudantes, elaboramos o Quadro 18 A porcentagem de alunos foi determinada a partir do número total de alunos (24 alunos).

Quadro 18. Atribuição da pontuação para construção da EV do experimento “Extração da cafeína do chá preto” pelos alunos

Princípio da Química Verde	Pontuação	Motivo da pontuação	Nº de alunos	Porcentagem
P1	1	Formação de pelo menos um resíduo tóxico (perigo elevado para a saúde e ambiente).	24	100%
P5	1	Pelo menos um dos solventes ou uma das substâncias auxiliares envolvidas são tóxicas (perigo elevado para a saúde e ambiente).	24	100%
P6	1	Pressão diferente da ambiente e/ou temperatura > 100°C ou menor que 0°C.	5	21%
	2	Pressão ambiente e temperatura entre 0°C e 100°C que implique arrefecimento ou aquecimento.	19	79%
P7	2	Algum dos reagentes/ matérias-primas/ recursos envolvidos é renovável.	24	100%
P10	1	Pelo menos um dos reagentes, produtos, etc., não é degradável nem pode ser tratado para dar origem a produtos inócuos.	14	58%
	2	Todos os reagentes, produtos, etc., que não são degradáveis podem ser tratadas para obter a sua degradação com os produtos de inócuos.	10	42%
P12	1	Atividades em que há um risco elevado de acidente químico (perigo físico e saúde).	9	37%
	2	Atividades em que há um risco moderado/ baixo de acidente químico (perigo físico e saúde)., facilmente controlável.	4	17%
	3	Atividades em que não pareça haver qualquer risco óbvio de acidente (perigo físico e saúde).	11	46%

Como podemos observar no Quadro 18, os Princípios P1 (Prevenção de Resíduos), P5 (Uso de Solventes e Auxiliares) e P7 (Fontes Renováveis de Matéria-Prima) foram pontuados igualmente por 100% dos estudantes com o valor esperado (pontuação 1).

Ao Princípio P6 (Eficiência Energética) deveria ser atribuído pontuação 2 conforme o critério: pressão ambiente, temperatura entre 0°C e 100°C pois na atividade é necessário utilizar chapa para aquecer mistura (água + chá preto + carbonato de cálcio) e manta para destilação do solvente. Percebe-se pelas EV apresentadas no Quadro 18 que 79% dos estudantes chegaram a esta conclusão. Outros 22% atribuíram pontuação 1, ou seja, consideram que a pressão era diferente da ambiente e/ou temperatura maior que 100°C.

O Princípio P10 (Produtos Degradáveis) foi pontuado por 58% dos estudantes com o valor 1, valor esperado para este princípio.

Para pontuar esse princípio, é necessário obter informação se a substância utilizada degrada ou pode ser tratada para obter a sua degradação. Na atividade, foi solicitado aos alunos que buscassem esse dado nas FISPQ para otimizar e padronizar a fonte de pesquisa, apesar de não ser garantia de encontrar este conteúdo nas mesmas. Para exemplificar, na FISPQ do éter de petróleo disponibilizada pela Merck encontramos a seguinte informação “Seção 12.2 Persistência e degradabilidade: Não existem informações disponíveis”, para o clorofórmio “não rapidamente degradável”. Em situações assim, o aluno deveria seguir a orientação fornecida na atividade “Quando a avaliação não puder ser feita, seja por falta de dados ou resultados/dados não confiáveis, atribui-se o valor 1, o que significa aplicar o princípio da precaução”.

O Princípio P12 (Química segura - Prevenção de Acidentes) recebeu pontuação igual a 1 por 37% dos alunos, pontuação igual a 2 por 17% dos alunos e pontuação igual a 3 por 52% dos alunos. Esse princípio deveria ter sido pontuado em 1, em função dos perigos intrínsecos às substâncias e apresentados em suas FISPQ. Como os dados coletados nas FISPQ sobre os perigos utilizados para pontuar o princípio 12 são os mesmos utilizados para pontuar os princípios 1 e 5, e foram utilizados corretamente por todos, podemos inferir que os alunos tiveram dificuldades para utilizar os critérios para pontuar. Ao analisar os enunciados dos alunos constatamos que a justificativa da pontuação 3 (totalmente verde) foi atribuída pelo fato de não ter acontecido acidentes durante a execução da atividade.

Segundo Dolz e Schneuwly, (2004), o movimento geral da SD vai do complexo para o simples: da produção inicial aos módulos. Nesta sequência, da atividade 1, para 2,3 e 4. No fim, o movimento leva novamente ao complexo: atividade 5: avaliar o grau verde (*greenness*) de um experimento utilizando a EV.

Neste sentido a análise das atividades 1 e 5 (inicial e final) nos permitiu observar a contribuição das atividades 2, 3 e 4 (módulos) no desenvolvimento das capacidades dos alunos em compreender os seis princípios analisados, verificar o grau verde(*greenness*) do experimento, identificar os pontos em que o professor pode/deve intervir, sobretudo se o problema a ser resolvido ultrapassa as capacidades dos alunos, necessidade de adaptações e mudanças na SD.

No que se refere aos princípios 1, 5 e 7, percebemos que os alunos não apresentaram dificuldades para interpretá-los. A partir da pesquisa nas FISPQ, os estudantes classificaram corretamente substâncias e resíduos quanto aos perigos físicos, para saúde humana e ambiente.

Identificamos como propício para a mediação do professor o momento de pesquisar e avaliar degradabilidade (Princípio 10) porque as informações não são encontradas na maioria das FISPQ. Quando encontramos estes dados temos de saber se o produto da degradação é inócuo. É importante chamar a atenção dos estudantes, para a aplicação do princípio da precaução que consta no texto da atividade.

Segundo Dolz e Schneuwly, (2004), durante o desenvolvimento de uma SD em sala de aula, o professor pode obter informações preciosas para diferenciar e até individualizar se necessário, seu ensino. Percebemos essa oportunidade ao analisar a pontuação do princípio 6 na atividade 5 percebemos que cinco alunos (21%) não reconheceram que a atividade foi realizada a pressão ambiente e temperatura entre 0°C e 100°C. Percebemos que este poderia ter sido um momento para entrevistar e resolver pontualmente a questão, pois a maioria (79%) dos estudantes não apresentaram dificuldades para pontuar o princípio.

A partir da análise das respostas referentes ao princípio 12, observamos a pertinência de incluir, durante o desenvolvimento da SD, uma discussão em classe. Incluir alguma questão ou outra atividade que contribuíssem para o entendimento sobre risco de acidentes que são inerentes as substâncias. O Quadro 19 apresenta respostas dos mesmos alunos na interpretação do princípio na atividade 1 e 5, o que mostra que após realizarem as atividades 2, 3 e 4, o princípio foi avaliado não

considerando a pesquisa dos perigos de acidentes químicos das substâncias na FISPQ.

É importante que os estudantes conheçam o risco de acidente químico para a saúde e o ambiente. E que compreenda que a simples presença de um agente capaz de produzir algum dano não significa que vai necessariamente ocorrer um acidente, ou o contrário, que o fato de não ocorrer nenhum acidente não significa que não há a presença de um agente capaz de produzir um dano.

Para atender os critérios da QV, um profissional na área de química deve ser capaz de escolher substâncias, bem como a sua forma, minimizando os potenciais de acidentes químicos, não só considerando os perigos para a saúde decorrente da toxicidade, mas propriedades como inflamabilidade, corrosividade, explosividade, entre outras. Essa escolha contribui para a Química Segura para Prevenção de Acidentes.

Quadro 19. Comparação entre enunciados de quatro estudantes referentes ao Princípio 12 nas atividades 1 e 5

Estudante	Resposta ¹ Atividade 1	Resposta ¹ Atividade 5
A09	<i>Os únicos aspectos que atendem aos princípios da Química Verde a utilização de fontes consideráveis de recursos renováveis (P7), os reagentes utilizados apresentaram degradabilidade, mesmo que tardia (P10) e durante o experimento não apresentou metodologia que envolvesse grandes riscos de acidentes difíceis de controlar (P12).</i>	<i>Durante a prática houve a utilização de EPC's e EPI's para que se pode ocorre mais proteção.</i>
A17	<i>O experimento atende a química verde quanto a química segura pois nenhum acidente ocorreu durante o experimento e não houve muito uso de instrumentos que poderiam apresentar algum perigo. Atendeu parcialmente quanto à eficácia energética por não termos utilizado tantos aparelhos eletrônicos, mas em parte do experimento a capela estava ligada sem necessidade. Também atendeu parcialmente também aos princípios 7 e 10 pois parte das matérias primas não eram renováveis e nem degradáveis.</i>	<i>Não houveram acidentes durante a prática.</i>
A25	<i>O experimento de extração da cafeína atende apenas ao princípio 12 já que é totalmente segura em relação acidentes.</i>	<i>Não ocorreu acidentes.</i>
A27	<i>O princípio 12 foi o mais verde, mostrando q temos cuidado dentro do laboratório, os outros dois estão no princípio, mas podem ser melhorado de acordo com a química verde, mas infelizmente a coisas que estão totalmente fora dos princípios o que nos leva a pensar sobre e ver o que dá para melhorar.</i>	<i>Não aconteceu nenhum acidente com ninguém, assim fizemos a química segura</i>

Obs: ¹ Transcrição das respostas dos alunos.

Como uma última observação do contexto geral, podemos inferir que houve uso mais adequado das ideias da Química Verde. O estudante E08 fez a seguinte análise do experimento após utilizar a metodologia da Estrela Verde, na atividade final:

O experimento não se mostrou adequado, visto que em alguns princípios da Química Verde a prática obteve valores ruins na escala de um experimento ideal. A utilização de outros solventes na prática pode ser uma alternativa que dê uma melhora na classificação tendo como parâmetro os princípios da química verde. Substituição do Tolueno, 1,2 dicloreto e sobretudo do éter de petróleo.

Para finalizar, temos que considerar os limites de todo material e o contexto da sua utilização.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um mestrado profissional é uma modalidade que tem como exigência além do texto da dissertação, um produto educacional que leve os resultados da pesquisa para a sala de aula ou em outros contextos educacionais, cuja elaboração nos proporcionou lições importantes, no âmbito pessoal e profissional. A começar pela sua elaboração e definição, que se fez num contínuo desconstruir para construir, findando com o prazo, nos ensinando o quanto é desafiador elaborar um material didático.

Aprendemos diante da oportunidade de desenvolver um produto com a interação do professor que está em sala de aula e seus alunos. O que nos proporcionou vivenciar a construção em colaboração, tornou-se possível perceber que a pesquisa vai além do referencial teórico, da metodologia, das anotações de campo, dos enunciados nas atividades, da análise, em diálogos e ações de sujeitos comprometidos e abertos ao novo, ao desafio.

Outra lição se apresentou ao utilizarmos a ferramenta proposta neste trabalho - metodologia da Estrela Verde (*Green Star*) - uma métrica útil para avaliar o grau verde (greenness) de uma atividade experimental, uma vez que possibilita a análise, de uma forma holística, dos princípios da QV. Para o professor, como instrumento para escolher atividades *verdes* e para os alunos, como possibilidade de desenvolvimento da capacidade de analisar e avaliar atividades experimentais baseadas nos princípios da QV. Entretanto, devemos salientar que a métrica não é decisória na avaliação e escolha de uma atividade experimental, mas um instrumento que contribui, mas não substitui a ação pedagógica e os conhecimentos na área de química, apenas auxilia na problematização e tomada de decisão.

Para finalizar, a sequência didática elaborada está longe de ser uma unidade pronta, mas sim, uma proposta que pode ser adaptada para outras atividades e disciplinas. A utilização da sequência didática, numa abordagem transversal para inserção da Química Verde ao currículo, nos cursos técnicos em Química e nas atividades experimentais dos cursos de graduação em Química, pode contribuir para preencher uma lacuna na formação quanto às preocupações ambientais. Consideramos que esta proposta pode ser implementada oportunizando aos alunos

discutir e avaliar criticamente as atividades experimentais de acordo com os parâmetros da QV, a fim de contribuir na sua formação.

7 REFERENCIAS

ALMEIDA, S. C. D. **Aplicação Web para Cálculo de Métricas de Avaliação da Verdura de Reações Químicas em Laboratório**. 2013, 47 f. Dissertação (Mestrado em Física e Química em Contexto Escolar). Faculdade de Ciências. Universidade do Porto, Porto.

Disponível em: <https://sigarra.up.pt/fcup/pt/pub_geral.show_file?pi_doc_id=6068>
Acesso em: set. 2016.

American Chemical Society. ACS.

Disponível em:

<<https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/principles/12-principles-of-green-chemistry.html>>. Acesso em: 06 ago. 2018.

ANASTAS, P. T.; EGHBALI, N. Green Chemistry: Principles and Practice. **Chem. Soc. Rev.**, v. 39, p. 301 - 312, 2010.

ANASTAS, P. T.; WARNER, J. C. **Green Chemistry: Theory and Practice**; Oxford University Press: Oxford, 1998. 135 p.

ARAÚJO, G. C.; BUENO, M. P.; SOUSA, A. A.; MENDONÇA, P. S. M. Sustentabilidade Empresarial: conceitos e indicadores. In: **Congresso Brasileiro Virtual de Administração**, 3, 2006.

Disponível em: http://www.convibra.com.br/2006/artigos/61_pdf.pdf. Acesso em: 10 ago. 2018.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. Investigação qualitativa em Educação: fundamentos, métodos e técnicas. In: _____ **Investigação qualitativa em educação**. Portugal: Porto Editora, 1994, p. 15 - 80.

BRUNDTLAND, G.H. **Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento** – 1988. Nosso Futuro Comum (Relatório Brundtland). Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.

CANNON, A.; WARNER, J. The Science of Green Chemistry and its Role in Chemicals Policy and Educational Reform. **New Solutions**, v. 21, n. 3, p. 499 - 517, 2011.

Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/51718857_The_Science_of_Green_Chemistry_and_its_Role_in_Chemicals_Policy_and_Educational_Reform>. Acesso em: 25 set. 2018.

CARSON, R. L. **Primavera Silenciosa**. São Paulo: Gaia, 2010, 305p.

CONSTABLE, D. J. C.; CURZONS, A. D.; SANTOS, L. M. F.; GEEN, G. R.; HANNAH, R. E.; HAYLER, J. D.; KITTERINGHAM, J.; MCGUIRE, M. A.; RICHARDSON, J. E.; SMITH, P.; WEBB, R. L.; YU, M. Green Chemistry Measures for Process Research and development, **Green Chem.**, v. 3, p. 3 - 7, 2001.

CONSTABLE, D. J. C.; CURZONSB, A. D.; L. CUNNINGHAMA, V. L. Metrics to 'green' chemistry - which are the best? **Green Chemistry**, v. 4, p. 521 - 527, 2002.

CONSTABLE, D. J. C.; CURZONS, A. D.; CUNNINGHAM, V. L. Metrics to Green Chemistry – Which are the Best? **Green Chem.**, v. 4, p. 521 - 527, 2002.

CORRÊA, A. G., OLIVEIRA, K. T., PAIXÃO, M. W., BROCKSOM, T. J. **Química orgânica experimental: uma abordagem de química verde**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 188 p.

CORRÊA, A. G., ZUIN, V. G., **Química Verde: fundamentos e aplicações**. São Carlos: EdUFSCar, 2009. 171 p.

COSTA, D. A. **Métricas de avaliação da Química Verde – aplicação no ensino secundário**, 2011, 301 f. Tese (Doutorado em Ensino e Divulgação das Ciências). Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto, 2011.

Disponível em:

<<http://educa.fc.up.pt/v2/ficheiros/investigacao/61/VER%20TESE%20de%20Dominique%20A.%20Costa.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2017.

COSTA, D. A.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Análise da Verdura das Atividades Laboratoriais do 11º Ano do Ensino Secundário, **Química-Bol. SPQ**, v. 123, p. 63 - 73, 2011

COSTA, D. A.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. S. C. "Uma Revisão da Bibliografia sobre o Ensino da Química Verde". **Química - Bol. SPQ**, v. 109, p. 47 - 51, 2008.

CURZONS, A. D.; CONSTABLE, D. J. C.; MORTIMER, D. N.; CUNNINGHAM, V. So you Process is Green, How do you Know? Using Principles of sustainability to Determine what is Green. **Green Chem.**, v. 3, p. 1 - 6, 2001.

D'AMATO, C.; TORREA, J. P. M.; MALM, O. DDT (Diclorodifeniltricloroetano): toxicidade e contaminação ambiental - Uma revisão. **Quím. Nova**, v. 25, n. 6, p. 995 - 1002, 2002.

DOLZ, J.; SCHNEUWLY, B. Sequências didáticas para o oral e a escrita: apresentação de um procedimento. In:_____. **Gêneros orais e escritos na escola**. Campinas: Mercado de Letras, 2004.

DUARTE, R. C. C. **Síntese verde no ensino da química**. 2016. 370 p. Tese (Doutorado em ensino e Divulgação das Ciências). Unidade de Ensino das Ciências. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto.

Disponível em:

<<http://educa.fc.up.pt/v2/ficheiros/investigacao/76/VER%20TESE%20de%20Rita%20C.%20C.%20Duarte.pdf>>. Acesso em: 15 set 2018.

DUARTE, R. C. C.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Avaliação da verdura de atividades laboratoriais de síntese química no ensino superior em Portugal. **Rev. Química**. v.138, p. 35 - 45, 2015.

DUARTE, R. C. C.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Using green Star Metrics to optimize the Greenness of literature protocols for Syntheses. **Journal of Chemical Education**, v. 92, p. 1024 - 1034, 2015.

Environmental Protection Agency. US EPA. Disponível em: <<http://www.epa.gov/greenchemistry>>. Acesso em: 06 ago. 2018.

FARIAS, L. A.; FÁVARO, D. I. T. Vinte anos de Química Verde: conquistas e desafios. **Quím. Nova**, v.34, n.6, p.1089 -1093, 2011.

FERNANDES, T. M. V. **Sínteses verdes no ensino secundário**. 2015, 137 f. Dissertação (Mestrado em Física e Química em Contexto Escolar). Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto, 2015. Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/81338/2/37076.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2017.

FERREIRA, V. F.; ROCHA, D. R.; SILVA, F. C. Química Verde, Economia Sustentável e Qualidade de Vida. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n.1, p. 85 -111, 2013.

JACOBI, P. R. Educação Ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo. **Educação e Pesquisa**, v. 31, n.2, p. 233-250, maio/ago. 2005.

LENARDÃO, E. J.; FREITA, G, R. A.; DABDOUB, M. J.; BAPTISTA, C. F.; SILVEIRA, C. Green Chemistry - Os 12 Princípios da Química Verde e sua inserção nas Atividades de Ensino e Pesquisa. **Quím. Nova**, v.26, n.1, p. 123 -129, 2003.

MACHADO, A. A. S. C. Da génese ao ensino da Química Verde. **Quím. Nova**, v. 34, n.3, p. 535 - 543, 2011.

MACHADO, A. A. S. C. Dos primeiros aos segundos doze princípios da Química Verde. **Quím. Nova**, v. 35, n. 6, p. 1250 -1259, 2012.

MACHADO, A. A. S. C. Métricas da Química Verde - a produtividade atômica. **Química-Bol. SPQ**, v.107, p. 47 - 55, 2007.

MACHADO, A. **Introdução às métricas da química verde: uma visão sistêmica**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2014. 252 p.

MARQUES, A. C.; GONÇALVES, F. P.; ZAMPIRON, E.; COELHO, J. C.; MELLO, L. C.; OLIVEIRA, P. R. S.; LINDEMANN, R. H. Visões de Meio Ambiente e Suas Implicações Pedagógicas no Ensino de Química na Escola Média. **Quím. Nova**, v. 30, n. 8, p. 2043 - 2052, 2007.

MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J.; BEHRENS III, W. W. **Limites do Crescimento: Um relatório para o projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1973.

Disponível em:

<https://pt.scribd.com/doc/218016244/Limites-Do-Crescimento>. >. Acesso em: 06 ago. 2018.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21**.

Disponível em: www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21. Acesso em: 06 ago. 2018. MORAES, R.; GALIAZZI, M. do C.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. do C. **Análise Textual Discursiva**. 2ª ed. ver. Ed. Unijuí, 2013. 224 p.

OLIVEIRA, L. D. Os Limites do Crescimento: 40 anos depois. **Revista Continentes** (UFRRJ), ano 1, n. 1, 2012. ONU. **Declaração de Estocolmo de 1972**.

Disponível em: <www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/estocolmo.doc>. Acesso em: 15 set 2018.

PASSOS, P. C. A Conferência De Estocolmo Como Ponto De Partida Para A Proteção Internacional Do Meio Ambiente. **Revista Direitos Fundamentais & Democracia**. V9, 2009. Disponível em: <<http://www.egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/18-19-1-pb.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2018.

PERREIRA, M. C. M. **Verdura Química de Atividades Laboratoriais – Avaliação de Manuais do Ensino Básico**. 2014. 110 p. Dissertação (Mestrado em Física e química em contexto Escolar). Departamento de química e Bioquímica. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto.
Disponível em: <https://sigarra.up.pt/fcup/pt/pub_geral.show_file?pi_doc_id=28132>. Acesso em: 15 set. 2018.

PRADO, A. G. S. Química Verde, os desafios da Química do novo milênio. **Quím. Nova**, v. 26, n.5, p. 738 -744, 2003.

RIBEIRO, M. G. T. C.; COSTA, D. A.; MACHADO, A. A. S. C. Uma métrica gráfica para a avaliação holística da verdura de reações laboratoriais “Estrela Verde”. **Quím. Nova**, v.33, n3, p. 759-764, 2010.

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; **GC Letters & Reviews**, v. 3, p. 149 -159, 2010.

RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C. Holistic metrics for assessment of the greenness of chemical reactions in the context of chemical education, **Journal of Chemical Education**, v. 90, n.4, p. 432 - 439, 2013.

RIBEIRO, M. G. T. C.; YUNES, S. F.; MACHADO, A. A. S. C. Assessing the Greenness of Chemical Reactions in the Laboratory Using Updated Holistic Graphic Metrics Based on the Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals, **journal of Chemical Education**, v.91, n. 11, p. 1901 - 1908, 2014.

ROLOFF, F. B. A. **Circulação de conhecimentos em Química Verde em teses e dissertações: implicações ao seu ensino e à formação de professores de química**. 2016. 346 f. Tese (doutorado em educação científica e tecnológica). Centro de Ciências Físicas e matemáticas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

ROMEIRO, A. R. Desenvolvimento Sustentável: uma perspectiva econômico ecológica. **Estudos Avançados**. V. 26, n.74, p. 65 - 92, 2012.

SALGADO, A. D. F. F. **Avaliação de Atividades Laboratoriais do Ensino Básico na Perspectiva da Química Verde**. 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado em física e química em contexto escolar). Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Porto.

SAQUETO, K. C. **Química Verde no ensino superior: estudo de caso sobre as práticas vigentes em uma IES paulista**. 2015. 266 p. Tese (Doutorado em Ciências). Departamento de Química. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/6345>>. Acesso em: 15 set. 2018.

SHELDON, R. A. Atom Efficiency and Catalysis in Organic Chemistry, *Pure Appl. Chem.*, v. 72, p. 1233 - 1246, 2000.

SHELDON, R. A. Metrics of Chemistry and Sustainability: Past, Present, and Future. *ACS Sustainable Chem. Eng.*, v. 6, p. 32 - 48, 2018.

SHELDON, R.A. Organic Synthesis: Past, Present and Future. *Chem. Ind.*, p. 903 - 906, 1992.

SILVA, B. B *et al.* Utilização dos conceitos da Química Verde nas aulas de laboratório. In: **XVII Encontro Nacional de Ensino de Química** (XVIII ENEQ), Florianópolis, 2016. P. 965 - 974.

Disponível em:

<http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/busca.htm?query=utiliza%E7%E3o+dos+conceito+s+de+quimica+verde>. Acesso em 20 ago. 2017.

SILVA, C. R. G.; MACHADO, A. H.; MATEUS, A. L. Atividades sobre Química Verde para o ensino profissional de química de nível médio: uma análise e reformulação. In: **XVII Encontro Nacional de Ensino de Química** (XVII ENEQ), Ouro Preto, 2014. P. 2769 - 2779. Disponível em <http://www.s bq.org.br/eneq/xvii/anais_xvii_eneq.pdf>. Acesso em set. 2016.

TIMMER, B. J. J.; SCHAUFELBERGER, F.; AMMARBERG, D.; FRANZÉN, J.; RAMSTRÖM, O.; DINÉR, P. Simple and Effective Integration of Green Chemistry and Sustainability Education into an Existing Organic Chemistry Course. *Journal of Chemical Education*. v. 95, n.8, p. 1301 -1306, 2018.

TROST, B. M. The Atom Economy - A Search for Synthetic Efficiency. *Science*, v. 254, p. 1471 – 1477, 1991.

UNESCO. **Use and Conservation of the Biosphere. Proceedings of the Intergovernmental Conference of Experts on the Scientific Basis for Rational Use and Conservation of the Resources of the Biosphere: 1968**. Liege/Belgica: Unesco, 1970.

US EPA - **Environmental Protection Agency. Pollution Prevention Act of 1990**. 2012. Disponível em: <https://www.epa.gov/p2/pollution-prevention-act-1990>.

WARNER, J. C.; CANNON, A. S.; DYE, K. M. Green chemistry. *Environmental Impact Assessment Review*, v.24, p. 775 - 799, 2004.

WINTERTON, N. Twelve more green chemistry principles? *Green Chem.* v. 3, p.73 - 75. 2001.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Trad. Ernani F. da Rosa. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

ZANDONAI, D. P. **A Inserção da Química Verde no Curso de Licenciatura em Química do DQ-UFSCAR: um estudo de caso**. 2013, 92 p. Dissertação (Mestrado profissional em Química). Departamento de Química. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.

Disponível em:

<<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/6651/5407.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 05 set 2017.

ZANDONAI, D. P. Química Verde e Formação de Profissionais do Campo da Química: Relato de uma Experiência Didática para Além do Laboratório de Ensino. **ver. Virtual de Quím.**, v.6, n.1, p. 73 - 84, 2013.

ZANDONAI, D. P.; SAQUETO, K. C.; ABREU, S. C. S. R.; LOPES, A. P.; ZUIN, V. G. Química Verde e Formação de Profissionais do Campo da Química: Relato de uma Experiência Didática para Além do Laboratório de Ensino. **Rev. Virtual Quím.**, v.6, n.1, p. 73 - 84, 2014.

8 ANEXOS

ANEXO A. Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE)

Aos alunos do 2º ano do Curso Técnico em Química do Colégio Técnico da Universidade Federal de Minas Gerais (COLTEC/UFMG).

Prezado (a) aluno (a),

Eu, Nivia Regina Vitalino de Melo, estudante do Mestrado em Educação e Docência da Universidade Federal de Minas Gerais (PROMESTRE) orientada pela Profa. Dra. Andréa Horta Machado e coorientação do Prof. Dr. Gilberto do Vale Rodrigues, gostaria de convidá-lo(a) a participar como voluntário(a) da pesquisa acadêmica **“Experimentos verdes de química orgânica: uma proposta de aplicação do método da estrela verde para o curso técnico de química”** que acontecerá nas aulas de Química Orgânica no COLTEC/UFMG.

A pesquisa será realizada com consentimento dos pais e/ou responsáveis, da direção da escola, dos professores envolvidos e de todos os alunos que participarão.

O trabalho tem por objetivo desenvolver um conjunto de atividades experimentais de química orgânica que considerem metodologia da química verde (QV) e um tutorial que possibilite que professores e técnicos em química utilizem a metodologia da estrela verde (EV).

A pesquisa contará com a observação das aulas práticas do professor titular da turma de química orgânica. Solicito autorização para gravação de áudio e vídeo para algumas atividades e fotografia de algumas montagens experimentais. Todos os registros produzidos ficarão guardados sob nossa responsabilidade e apenas poderão ser consultados por pessoas diretamente envolvidas nesse trabalho e serão de uso exclusivo para fins da pesquisa. Não serão, portanto, utilizados para avaliação de condutas dos alunos nem para público externo ou interno. Você não será obrigado a fazer qualquer atividade que extrapole suas tarefas escolares. Não será atribuída pontuação pela participação na pesquisa, ou seja, a sua participação na pesquisa não é critério de avaliação na disciplina. Embora saibamos que qualquer projeto pode oferecer algum incômodo (conforme Res.466/12 não existe pesquisa sem riscos), a pesquisa oferece riscos mínimos quanto a saúde e bem estar, há risco de constrangimento e de desconfortos pela gravação das aulas, por isso tomaremos cuidados para que tais desconfortos e constrangimentos sejam minimizados, fazendo com que as aulas aconteçam naturalmente procurando propiciar situações em que todos se sintam à vontade para se expressarem e que a presença do pesquisador não cause desconforto para os estudantes. Os resultados da pesquisa serão comunicados utilizando nomes fictícios, assim, sua identidade será preservada.

Todos os dados obtidos em campo, através do caderno de campo, entrevista e gravações de áudio, vídeo e fotografia serão arquivados na sala da professora orientadora desta pesquisa, Profa. Dra. Andréa Horta Machado, na Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação, av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – Belo Horizonte, MG – Brasil, por um período de cinco anos sob responsabilidade da pesquisadora principal, e o seu acesso será restrito a somente os envolvidos na pesquisa.

Durante todo o período da pesquisa, você tem o direito de tirar qualquer dúvida ou pedir qualquer outro esclarecimento, bastando para isso entrar em contato através

do telefone (31)997.315.054 ou pelo e-mail niviavitalinomelo@yahoo.com.br. Para esclarecimento quanto à conduta ética da pesquisa ou em caso de dúvidas éticas você poderá consultar o Comitê de Ética da Pesquisa (COEP/UFMG). Caso deseje recusar a participação ou retirar o seu consentimento em qualquer fase da pesquisa tem total liberdade de fazê-lo.

Sentindo-se esclarecido(a) em relação à proposta e concordando em participar voluntariamente desta pesquisa, peço-lhe a gentileza de rubricar, assinar e devolver o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE), em duas vias, sendo que uma das vias ficará com você e a outra será arquivada pelos pesquisadores por cinco anos, de acordo com a Resolução 466/2012.

Atenciosamente,

Nivia Regina Vitalino de Melo
Pesquisadora
niviavitalinomelo@yahoo.com.br
Universidade Federal de Minas Gerais

Profa. Dra. Andréa Horta Machado
Orientadora da pesquisa
ahortamachado@gmail.com
Universidade Federal de Minas
Gerais

Agradecemos desde já sua colaboração!

- Concordo e autorizo a realização da pesquisa nos termos propostos.
 Discordo e desautorizo a realização da pesquisa.

Nome do aluno: _____

Assinatura do aluno

Belo Horizonte _____ de _____ de 2018.

ANEXO B. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

Pais e/ou Responsáveis por Alunos(as)

Aos Srs. Pais e/ou Responsáveis pelos alunos do 2º ano do Curso Técnico em Química do Colégio Técnico da Universidade Federal de Minas Gerais

Caro pai, mãe ou responsável legal pelo(a) aluno(a),

Eu, Nivia Regina Vitalino de Melo, estudante do Mestrado em Educação e Docência da Universidade Federal de Minas Gerais (PROMESTRE) orientada pela Profa. Dra. Andréa Horta Machado e coorientação do Prof. Dr. Gilberto do Vale Rodrigues, gostaria de convidar seu filho(a) para participar como voluntário(a) da pesquisa acadêmica **“Experimentos verdes de química orgânica: uma proposta de aplicação do método da estrela verde para o curso técnico de química”** que acontecerá nas aulas de Química Orgânica no COLTEC/UFMG.

A pesquisa será realizada com consentimento dos pais e/ou responsáveis, da direção da escola, dos professores envolvidos e de todos os alunos que participarão.

O trabalho tem por objetivo desenvolver um conjunto de atividades experimentais de química orgânica que considerem metodologia da química verde (QV) e um tutorial que possibilite que professores e técnicos em química utilizem a metodologia da estrela verde (EV).

A pesquisa contará com a observação das aulas práticas do professor titular da turma de química orgânica. Solicito autorização para gravação de áudio e vídeo para algumas atividades e fotografia de algumas montagens experimentais. Todos os registros produzidos ficarão guardados sob nossa responsabilidade e apenas poderão ser consultados por pessoas diretamente envolvidas nesse trabalho e serão de uso exclusivo para fins da pesquisa. Não serão, portanto, utilizados para avaliação de condutas dos alunos nem para público externo ou interno. Os alunos não serão obrigados a fazer qualquer atividade que extrapole suas tarefas escolares. Não será atribuída pontuação pela participação na pesquisa, ou seja, a participação dos alunos na pesquisa não é critério de avaliação na disciplina. Embora saibamos que qualquer projeto pode oferecer algum incômodo (conforme Res.466/12 não existe pesquisa sem riscos), a pesquisa oferece riscos mínimos aos estudantes quanto a saúde e bem estar, há risco de constrangimento e de desconfortos dos estudantes pela gravação das aulas, por isso tomaremos cuidados para que tais desconfortos e constrangimentos sejam minimizados, fazendo com que as aulas aconteçam naturalmente procurando propiciar situações em que todos se sintam à vontade para se expressarem e que a presença do pesquisador não cause desconforto para os estudantes. Os resultados da pesquisa serão comunicados utilizando nomes fictícios, assim, sua identidade será preservada.

Todos os dados obtidos em campo, através do caderno de campo, entrevista e gravações de áudio, vídeo e fotografia serão arquivados na sala da professora orientadora desta pesquisa, Profa. Dra. Andréa Horta Machado, na Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação, av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – Belo Horizonte, MG – Brasil, por um período de cinco anos sob

responsabilidade da pesquisadora principal, e o seu acesso será restrito a somente os envolvidos na pesquisa.

Durante todo o período da pesquisa, o(a) senhor(a) tem o direito de tirar qualquer dúvida ou pedir qualquer outro esclarecimento, bastando para isso entrar em contato através do telefone (31) 997 315 054 ou pelo e-mail niviavitalinomelo@yahoo.com.br. Para esclarecimento quanto à conduta ética da pesquisa ou em caso de dúvidas éticas você poderá consultar o Comitê de Ética da Pesquisa (COEP/UFMG). Caso deseje recusar a participação ou retirar o seu consentimento em qualquer fase da pesquisa tem total liberdade de fazê-lo.

Sentindo-se esclarecido(a) em relação à proposta e concordando que seu filho(a) participe voluntariamente desta pesquisa, peço-lhe a gentileza de rubricar, assinar e devolver o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), em duas vias, sendo que uma das vias ficará com o(a) senhor(a) e a outra será arquivada pelos pesquisadores por cinco anos, de acordo com a Resolução 466/2012.

Atenciosamente,

Nivia Regina Vitalino de Melo Pesquisadora niviavitalinomelo@yahoo.com.br Universidade Federal de Minas Gerais	Profa. Dra. Andréa Horta Machado Orientadora da pesquisa ahortamachado@gmail.com Universidade Federal de Minas Gerais
---	---

Agradecemos desde já sua colaboração!

- () Concordo e autorizo a realização da pesquisa nos termos propostos.
() Discordo e desautorizo a realização da pesquisa.

Nome do aluno: _____

Nome do pai e/ou responsável: _____

Assinatura pai e/ou responsável

Belo Horizonte _____ de _____ de 2018.

ANEXO C. Roteiro Extração da Cafeína

EXTRAÇÃO DA CAFEÍNA¹

1. INTRODUÇÃO

Alcalóides são substâncias orgânicas nitrogenadas de caráter básico, geralmente de origem vegetal, e que provocam efeitos fisiológicos característicos nos organismos humanos. Nem todas as substâncias classificadas como alcalóides obedecem rigorosamente a todos os itens desta definição; por exemplo o alcalóide da pimenta (piperina) não é básico, mas tem acentuada ação fisiológica. Do ponto de vista químico, os alcalóides não constituem um grupo homogêneo de substâncias. Quase todos, porém, apresentam estrutura química derivada de um composto heterociclo. Uma classificação química de alcalóides baseia-se na estrutura deste heterociclo: alcalóides da piridina (ex.: nicotina), da xantina (ex.: cafeína), da quinolina, do pirrol, do indol, da piperidina, etc.

Certas famílias vegetais são particularmente ricas em alcalóides, por exemplo, as rubiáceas (café) e as solanáceas (fumo).

A cafeína (1,3,7-trimetilxantina, 1) pertence à família dos alcaloides xantínicos (Figura 1).

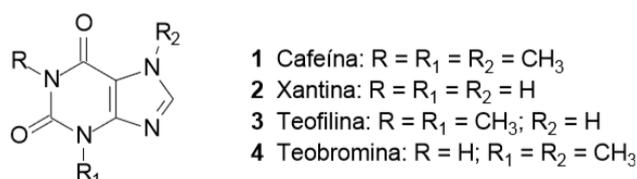


Figura 1: Alguns exemplos de alcaloides xantínicos.

A cafeína foi isolada do café por Runge em 1820 e do chá preto por Oudry em 1827. Ela é encontrada ainda no guaraná, erva-mate e em outros vegetais, e é responsável pelo efeito estimulante de bebidas como chá e café e de refrigerantes como Coca-Cola e Pepsi-Cola. É também um dos princípios ativos de bebidas ditas “energéticas” (Red Bull, Power Flash, etc.).

¹Em: <http://nuquiocat.quimica.blumenau.ufsc.br/files/2015/07/experie%cc%82ncia-03_extrac%cc%a7a%cc%83o-da-cafei%cc%81na.pdf> Acesso em: 17/04/2017

A cafeína provoca um efeito pronunciado no sistema nervoso central (SNC), mas nem todos os derivados xantínicos são efetivos como estimulantes do SNC. A teobromina (4, Figura 1), uma xantina encontrada no cacau, possui pouco efeito no SNC, porém é um forte diurético e é utilizada em medicamentos para tratar pacientes com problemas de retenção de água. A teofilina (3), encontrada no chá junto com a cafeína, também tem pouca ação no SNC, mas é um forte estimulante do miocárdio, relaxando a artéria coronária, que fornece sangue ao coração. Teofilina, também chamada de aminofilina, é frequentemente usada no tratamento de pacientes que tiveram parada cardíaca. É também um diurético mais potente que a teobromina. Sendo um vasodilatador, é geralmente empregada no tratamento de dores de cabeça causadas por hipertensão e asma.

A cafeína é relativamente tóxica ($LD_{50} = 75 \text{ mg/Kg}$), mas para obter-se uma dose letal de cafeína, o indivíduo deveria ingerir cerca de uma centena de xícaras de café em um curto período de tempo. Na Tabela 1 são apresentadas as quantidades médias de cafeína encontradas em algumas bebidas e alimentos.

Devido aos efeitos provocados pela cafeína no SNC, algumas pessoas preferem usar café descafeinado. A descafeinação reduz o conteúdo de cafeína do café para aproximadamente 0,03 - 1,2%

Tabela 1: Porcentagem em massa de cafeína presente em bebidas e alimentos

BEBIDA/ALIMENTO	% EM MASSA DE CAFEÍNA
CAFÉ (MOÍDO)	0,06 - 0,10
CAFÉ (INSTANTÂNEO)	0,03 - 0,07
CAFÉ (EXPRESSO)	0,17 - 0,25
CAFÉ (DESCAFEINADO)	0,001 - 0,004
CHÁ	0,02 - 0,07
CHOCOLATE	0,005
COCA-COLA	0,015

2. METODOLOGIA

No experimento de hoje será realizada a extração da cafeína das folhas do chá, usando água quente contendo carbonato de cálcio. Por sua vez, a cafeína será extraída desta fase aquosa com diclorometano. Com a evaporação do solvente obtém-se a cafeína impura. A purificação da cafeína obtida será feita através da técnica de recristalização, utilizando tolueno e éter de petróleo como solventes.

Alcalóides são aminas, e portanto, formam sais solúveis em água, quando tratados com ácidos. A cafeína encontrada nas plantas apresenta-se na forma livre ou combinada com taninos fracamente ácidos. A cafeína é solúvel em água, então pode ser extraída de grãos de café ou das folhas de chá com água quente. Junto com a cafeína, outros inúmeros compostos orgânicos são extraídos, e a mistura destes compostos é que dá o aroma característico ao chá e ao café. Entretanto, a presença desta mistura de compostos interfere na etapa de extração da cafeína com um solvente orgânico, provocando a formação de uma emulsão difícil de ser tratada. Para minimizar este problema utiliza-se uma solução aquosa de carbonato de cálcio. O meio básico promove a hidrólise do sal de cafeína-tanino, aumentando assim o rendimento de cafeína extraída.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Em um erlenmeyer de 250 mL coloque 15,0 g de chá preto, 150 mL de água e 7,0 g de carbonato de cálcio. Ferva a mistura com agitação ocasional por 20 minutos, filtre a mistura quente em Buchner e esfrie o filtrado a 10-15 °C.

Transfira o filtrado para um funil de separação e extraia a cafeína com 4 porções de 20 mL de cloreto de metileno (extração múltipla com agitação suave para evitar a formação de emulsão). Seque a fase orgânica com sulfato de sódio anidro e filtre por gravidade para um balão de fundo redondo. Evapore o diclorometano usando placa de aquecimento ou rotaevaporador até que se obtenha um volume de 5-7 mL no balão. Transfira então o extrato concentrado para um béquer e evapore o restante do solvente em banho de vapor até a secura. Pese o resíduo esverdeado de cafeína bruta e calcule a percentagem de alcalóide no chá. O resíduo pode ser recristalizado, dissolvendo-o em 2-3 mL de acetona a quente e adicionando algumas gotas de éter de petróleo (p. e. 60-80 °C) até formar o precipitado, pesar e calcular o rendimento.

Opcionalmente, a recristalização pode ser realizada utilizando-se acetona. Determine o ponto de fusão do cristal e compare-o com o descrito na literatura.

4. QUESTIONÁRIO

- 1- O que é um alcalóide?
- 2- Por que os alcalóides geralmente apresentam caráter básico?
- 3- Por que a maioria dos alcalóides são extraídos das plantas com uma solução aquosa ácida?
- 4- Por que a cafeína é extraída com uma solução aquosa básica?
- 5- Explique a técnica de recristalização usada nesta experiência.
- 6- Quais as estruturas dos heterociclos: piridina, piperidina, pirrol, quinolina, indol e xantina?
- 7- Apesar de existirem alcalóides de origem animal (por ex., nos venenos de alguns animais peçonhentos), a vasta maioria dos alcalóides é encontrada em vegetais. Sugira razões para este fato (ou seja, por que as plantas sintetizam alcalóides?).
- 8- Discuta sobre a metodologia de isolamento de um produto natural a partir de plantas, que foi utilizado neste experimento. Ela pode ser considerada geral? Quais as dificuldades encontradas? Quais as vantagens desse método?
- 9- Discuta a porcentagem de cafeína bruta isolada e de cafeína após a recristalização. Levando-se em conta que as plantas produzem milhares de compostos diferentes, o que você conclui a respeito da quantidade de cafeína presente no chá preto?
- 10- Cite exemplos de alguns alcalóides extraídos de plantas, correlacionando-os com as respectivas atividades biológicas.
- 11- Em caso de intoxicação com soda cáustica e metanol, quais os primeiros socorros? (consultar o Manual de Segurança da Aldrich)

CONHEÇA MAIS SOBRE A CAFEÍNA!

1) Onami, T.; Kanazawa, H. Journal of Chemical Education 1996, 73, 556. 2) Moyé, A. L. Journal of Chemical Education 1972, 49, 194. 3) QMCWEB: <http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/exemplar22.html>

Relatório 03

Ao longo do relatório adicione as seguintes informações:

- Cálculos da porcentagem em massa de cafeína bruta isolada e cafeína após a recristalização;
- Após determinação do ponto de fusão experimental da cafeína, compare com o ponto de fusão encontrado na literatura;
- Fale brevemente da técnica de recristalização;
- Adicione a estrutura química da cafeína e dê pelo menos mais dois taninos que podem ser extraídos juntamente com a cafeína.

Em:< http://nuquiocat.quimica.blumenau.ufsc.br/files/2015/07/experie%cc%82ncia-03_extrac%cc%a7a%cc%83o-da-cafei%cc%81na.pdf> Acesso em: 17/04/2017

ANEXO D. Atividade 1**Você já ouviu falar em Química Verde?**

A população em expansão está diante de inúmeros desafios em relação ao ambiente tais como: escassez de água potável, recursos energéticos, habitação, conservação e degradação do ambiente. A química tem um papel significativo frente a estas questões, por ser uma ciência que, apesar de todos os benefícios que proporciona à humanidade, está associada a diversos impactos ambientais e a prejuízos à qualidade de vida e à sustentabilidade do planeta. Em parte, porque alguns dos processos e produtos químicos geram resíduos que alteram a composição da atmosfera, da água e solo.

Da necessidade de uma nova conduta química para reverter a degradação ambiental, surgiu a ideia da química verde, que propõe um novo caminho na busca de soluções na sustentabilidade ambiental.

Você já ouviu falar de Química Verde?

() sim () Não

Nesta atividade você deverá

1. Observar a Figura 1 a seguir (textos e imagens).
2. Ler a descrição de cada um dos 12 Princípios da Química Verde apresentados nela.
3. Em seguida, responder à Questão 1.

Figura 1. Princípios da Química Verde

OS 12 PRINCÍPIOS DA QUÍMICA VERDE

Pode ser definida como a criação, o desenvolvimento e a implementação de produtos químicos e/ou processos para reduzir ou eliminar o uso ou a geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao ambiente.

<p>1. PREVENÇÃO DE RESÍDUOS</p>  <p>É mais barato evitar a formação de resíduos tóxicos do que tratá-los depois que eles são produzidos.</p>	<p>7. FONTES RENOVÁVEIS DE MATÉRIA PRIMA</p>  <p>O uso de biomassa como matéria prima deve ser priorizado no desenvolvimento de novas tecnologias e processos.</p>
<p>2 ECONOMIA ATÔMICA</p>  <p>As metodologias sintéticas devem ser desenvolvidas de modo a incorporar o maior número possível de átomos dos reagentes no produto final.</p>	<p>8. MINIMIZAR OU EVITAR DERIVAÇÃO</p>  <p>A derivação desnecessária deve ser minimizada ou, se possível, evitada, porque estas etapas usam reagentes adicionais e podem gerar resíduos.</p>
<p>3. SÍNTESE SEGURA</p>  <p>Deve-se desenvolver rotas sintéticas que utilizem e gerem substâncias com pouca ou nenhuma toxicidade à saúde humana e ao ambiente.</p>	<p>9. CATÁLISE</p>  <p>O uso de catalizadores (tão seletivo quanto possível) deve ser escolhido em substituição aos reagentes estequiométricos.</p>
<p>4. PRODUTOS SEGUROS</p>  <p>Deve-se buscar desenvolvimento de produtos que, após realizarem a função desejada, não causem danos ao ambiente.</p>	<p>10. PRODUTOS DEGRADÁVEIS</p>  <p>Os produtos químicos precisam ser projetados para a biocompatibilidade. Após a utilização não devem permanecer no ambiente, degradando-o.</p>
<p>5. SOLVENTES AUXILIARES SEGUROS</p>  <p>Substâncias auxiliares como solventes, agentes de purificação e secantes, precisa ser evitada ao máximo; quando inevitável, devem ser inócuos ou reutilizados.</p>	<p>11. ANÁLISE EM TEMPO REAL P/ PREVENÇÃO</p>  <p>O monitoramento e controle em tempo real devem ser viabilizados. A possível formação de substâncias tóxicas deve ser detectada antes de sua geração.</p>
<p>6. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA</p>  <p>A utilização de energia pelos processos precisa ser reconhecida pelos seus impactos ambientais e econômicos, e por isso, minimizada.</p>	<p>12. QUÍMICA SEGURA (PREVENÇÃO DE ACIDENTES)</p>  <p>As escolhas das substâncias, bem como a sua utilização em processos qu</p>

Fonte: Adaptado da figura disponível em <<https://sites.google.com/site/praticasquimicaverdeufabc/my-forms>>. Acesso em: 19 ago.2018

Questão 1. Indicar quais desses Princípios da Química Verde podem, ou não, ser avaliados/medidos/analizados a partir do roteiro do experimento realizado por você na aula prática de Química Orgânica: “Extração da Cafeína do chá preto”. Justificar a sua resposta.

Princípio 1 - Prevenção de Resíduos.
 sim Não
Justifique a resposta anterior.

Princípio 7 - Prevenção de Resíduos.
 sim Não
Justifique a resposta anterior.

Princípio 2 - Prevenção de Resíduos.
 sim Não
Justifique a resposta anterior.

Princípio 8 - Prevenção de Resíduos.
 sim Não
Justifique a resposta anterior.

Princípio 3 - Prevenção de Resíduos.
 sim Não
Justifique a resposta anterior.

Princípio 9 - Prevenção de Resíduos.
 sim Não
Justifique a resposta anterior.

Princípio 4 - Prevenção de Resíduos.
 sim Não
Justifique a resposta anterior.

Princípio 10 - Prevenção de Resíduos.
 sim Não
Justifique a resposta anterior.

Princípio 5 - Prevenção de Resíduos.
 sim Não
Justifique a resposta anterior.

Princípio 11 - Prevenção de Resíduos.
 sim Não
Justifique a resposta anterior.

Princípio 6 - Prevenção de Resíduos.
 sim Não
Justifique a resposta anterior.

Princípio 12 - Prevenção de Resíduos.
 sim Não
Justifique a resposta anterior.

Para saber mais

LENARDÃO, E. J.; FREITAG, R. A.; DABDOUB, M. J.; BATISTA, A. C. F. “Green Chemistry” – Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. **Quim. Nova**, v. 26, n. 1, p.123-129, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v26n1/14310.pdf>>. Acesso em 01 ago. 2018.

ANEXO E. Atividade 2

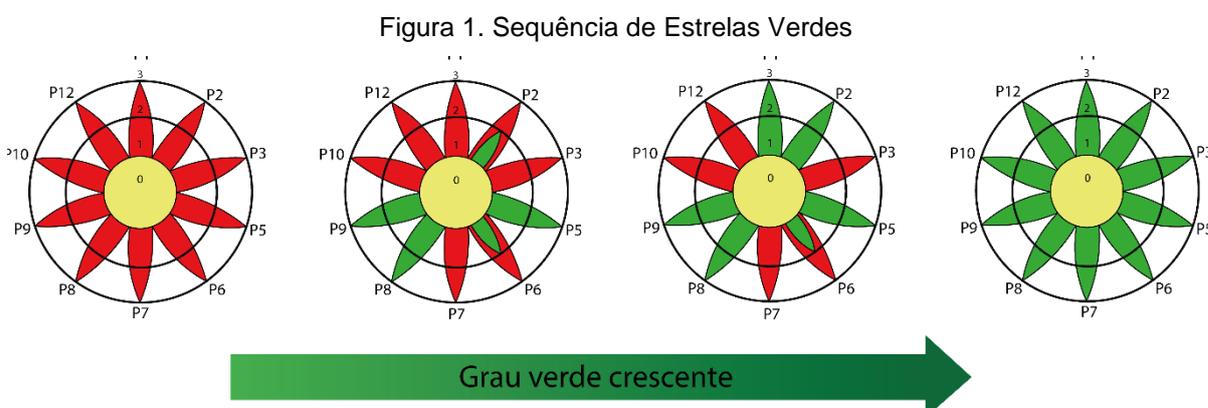
Como avaliar se um experimento atende aos princípios da Química Verde?

Atender aos princípios da Química Verde não é uma tarefa fácil, pois significa reduzir ou eliminar riscos, toxicidade, recursos não renováveis, energia, geração de resíduos, e muito mais.

Então, como saber se um experimento está de acordo com os princípios da Química Verde?

Existem ferramentas - métricas - para verificar o quanto um processo/experimento atende aos princípios. A palavra métrica pode ser definida como medir, ou seja, quantificar, comparar, qualificar de acordo com critérios bem estabelecidos.

Várias métricas são apresentadas na literatura para avaliar o grau verde (greenness) (verdura química) de um experimento. Dentre elas, temos a Estrela Verde, que é uma métrica semiquantitativa com resultados gráficos que permitem a visualização e a comparação rápida da “verdura” entre os procedimentos experimentais. A Figura 1 mostra uma sequência com quatro gráficos (quatro estrelas), nos quais a área verde fornece uma visão global do grau verde (greenness) (verdura química) de um experimento. Quanto maior área verde o gráfico apresentar, maior o grau verde (greenness) do experimento.



Fonte: RIBEIRO; COSTA; MACHADO, 2010.

Nesta atividade você deverá

1. Acessar o link:

<http://educa.fc.up.pt/catalogo/pt/construcao_ev> "Construção da Estrela Verde".

2. Ler o texto apresentado em "Home > Construção da Estrela Verde".

3. Em seguida, responder à Questão 1.

Questão 1. Após a leitura do texto, elabore uma sequência de passos que servirá como ponto de partida para você construir o gráfico Estrela Verde (Green Star) do seu experimento.

Para saber mais

RIBEIRO, M. G. T. C.; COSTA, D. A.; MACHADO, A. S. C. Uma métrica gráfica para avaliação holística da verdura de reações laboratoriais – "Estrela Verde". **Quim. Nova**, v.33, n. 3, p. 759-764, 2010.

ANEXO F. Atividade 3

Pesquisando os dados necessários para construir o gráfico Estrela Verde (EV) (Green Star) para avaliar um experimento

Na atividade anterior, você leu um texto com várias informações sobre como construir uma Estrela Verde (Green Star) e elaborou uma primeira sequência de passos. Agora é hora de começarmos a sistematizar este conhecimento. Para isso, precisamos desenvolver uma sequência de passos, procedimento para construir a Estrela Verde.

Vamos iniciar pela pesquisa e organização de todos os dados para construir a Estrela Verde (Green Star) do seu experimento.

Antes de iniciar a sua pesquisa, você deverá

1. Acessar o link.

https://drive.google.com/open?id=1LAepahws6chQz3Vdkc01eLSJxtQ_rBOIXecqwhMkIsE

2. Clicar em arquivo/fazer uma cópia....

3. Na janela aberta coloque o nome do arquivo da seguinte forma: o primeiro nome e o último sobrenome. Veja o exemplo: Aluno Nivia Regina Vitalino de Melo - Nome do arquivo: niviamelo.

4. Clicar em OK.

5. Voltar a este formulário.

Nesta atividade você deverá

1. Pesquisar todos os dados para construir a Estrela Verde (Green Star) do seu experimento e organizá-los.

2. Efetuar atentamente TODOS os quatro passos:

1º Passo: Consultar o roteiro do seu experimento.

2º Passo: Consultar as FISPQ (Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos) para obter informações sobre os perigos e a degradabilidade das substâncias.

3º Passo: Pesquisar sobre a renovabilidade, ou não, de cada substância.

4º Passo: Preencher o Quadro 1.com os códigos de perigo, segundo o Sistema Harmonizado Globalmente para a Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS), degradabilidade e renovabilidade de todas as substâncias envolvidas no experimento, na aba "Substâncias/Pontuação" com TODOS os dados pesquisados.

ESSES PASSOS ESTÃO DETALHADOS A SEGUIR

1º Passo: Consultar o roteiro do seu experimento

1. Acessar o link a seguir para consultar o roteiro do seu experimento. Preencher a primeira coluna, Quadro 1, Aba "Substâncias/Pontuação" da sua planilha com o nome de TODAS as substâncias que foram utilizadas e geradas durante a execução do seu experimento (reagentes, produtos, solventes, agentes secantes, resíduos, catalisadores, etc).

OBSERVAÇÃO

No roteiro, item "3 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL", segundo parágrafo, linha 2, "...extraia a cafeína com 4 porções de 20 mL de cloreto de metileno...". Você deverá substituir cloreto de metileno por 1,2-dicloetano, substância que foi utilizada para realizar o experimento.

Link do roteiro:

http://nuquiocat.quimica.blumenau.ufsc.br/files/2015/07/EXPERIE%CC%82NCIA-03_Extrac%CC%A7a%CC%83o-da-cafei%CC%81na.pdf

2º Passo: Consultar as Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) para obter informações sobre os perigos e degradabilidade das substâncias

1. Pesquisar e preencher a segunda coluna, Quadro 1, Aba "Substâncias/Pontuação", da sua planilha com os códigos conforme o Sistema Harmonizado Globalmente para a Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos ou *Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals* (GHS) de cada substância. Os códigos

GHS nos fornecem as informações sobre os perigos para saúde, para o ambiente e os perigos físicos das substâncias.

2. Pesquisar e preencher a terceira coluna, Quadro 1, Aba "Substâncias/Pontuação", da sua planilha com as informações sobre a degradabilidade de cada uma das substâncias.

OBSERVAÇÕES

- É preciso ter atenção ao buscar os códigos GHS nas FISPQ, pois há divergências entre informações disponibilizadas por diferentes fabricantes. Assim, quando possível, é importante obter os dados em FISPQ de um mesmo fornecedor.

- Copiar TODOS os códigos GHS.

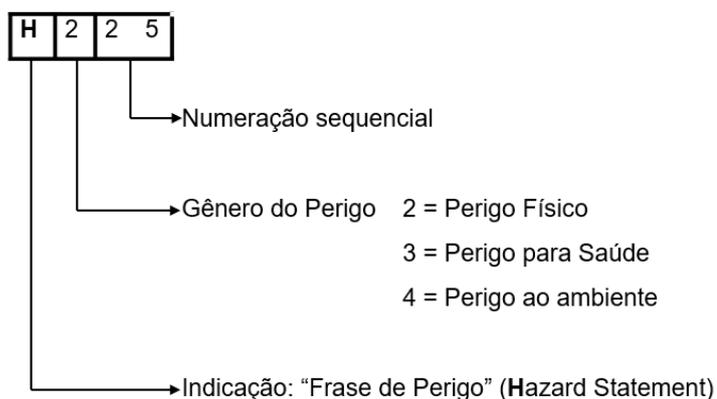
- Algumas substâncias não apresentam código GHS por serem classificadas como não perigosas.

- Informações sobre degradabilidade, em alguns casos, não estão disponíveis.

- Os dados - códigos GHS e degradabilidade - podem ser obtidos nas FISPQ (Fichas de Informações de Segurança de Produtos Químicos) ou SDS (*Safety Data Sheet*). As FISPQ podem ser consultadas nas páginas *Web* dos fornecedores de substâncias químicas. Sugerimos utilizar preferencialmente os fornecedores *Merck* e *Sigma-Aldrich*.

- Nos textos das FISPQ, os códigos GHS encontram-se na - Seção 2. Classificação dos perigos. Nessa seção você vai encontrar as chamadas frases de perigo. Um código GHS é construído pela letra H seguida por números, como apresentado na Figura 1. A letra H é utilizada para indicar a Frase de perigo (*Hazard Statement*). O primeiro número indica o gênero do perigo (físico, saúde ou ambiente). Os dois números seguintes correspondem à numeração sequencial dos perigos.

Figura 1. Estrutura do código das frases de perigo



Fonte: Elaborada pelo autor.

- Informações sobre degradabilidade encontram-se na FISPQ - Seção 12. Informações ecológicas, 12.2. Persistência e degradabilidade. Esta informação nem sempre é disponível na FISPQ ou mesmo na *Web*.

3 - Buscar as FISPQ na *Web*. Sugerimos um dos links a seguir. A Figura 2 mostra os passos para encontrar as informações no Site da Merck.

Merck (Português)

<https://www.merckmillipore.com/BR/pt/systempage.contactus.channel.pagelet2-systempage.contactus.channel>

Sigma-Aldrich (Inglês)

<https://www.sigmaaldrich.com/safety-center.html>.

Figura 2. Sequência de passos para pesquisa dados na FISPQ no Site Merck

1 - Digitar o nome da substância

2 - Clicar na "lupa" para pesquisar

3 - Clicar em "MSDS" para abrir FISPQ da substância

4 - FISPQ da substância

5 - Na seção 2.2, copiar TODOS os códigos GHS da substância

6 - Na seção 12.2, copiar as informações sobre degradabilidade da substância

Fonte: Elaborada pelo autor.

3º Passo: Pesquisar sobre a renovabilidade, ou não, de cada substância

1. Preencha a quarta coluna, Quadro 1, Aba "Substâncias/Pontuação", da sua planilha com as informações sobre a renovabilidade, ou não, de cada uma das substâncias da primeira coluna. Esta pesquisa você deverá fazer na *Web*, considerando o modo de produção da substância.

Questão 1. Anexe sua planilha preenchida.

Para saber mais

WALLAU, W. M., SANTOS, A. dos S. O Sistema Globalmente Harmonizado De Classificação E Rotulagem De Produtos Químicos (GHS) – Uma Introdução para sua Aplicação em Laboratórios de Ensino e Pesquisa Acadêmica. **Quim. Nova**, Vol. 36, No. 4, p. 607-617, 2013.

ANEXO G. Atividade 4

Como medir o grau verde (greenness) de cada princípio da Química Verde no gráfico EV?

Na atividade 1, você refletiu sobre quais dos doze princípios estão em jogo no experimento, ou seja, quais serão os princípios avaliados. Conseqüentemente, definiu-se o número de pontas de sua EV.

Na atividade 2, você leu um texto sobre uma das ferramentas que nos ajudam a verificar o quanto o nosso experimento está de acordo com a filosofia da Química Verde – a métrica gráfica Estrela Verde.

Na atividade 3, você pesquisou os dados para gerar a EV: enumerou todas as substâncias envolvidas no experimento, pesquisou as informações sobre riscos para a saúde, para o ambiente e de acidentes, sobre a degradabilidade e a renovabilidade.

Nesta atividade, vamos conhecer e utilizar os critérios pré-estabelecidos pelos idealizadores da métrica que tornaram possível quantificar o grau verde (greenness) de cada princípio da QV



Critérios pré-estabelecidos para pontuar os perigos e princípios

Para construir um gráfico é necessário quantificar os parâmetros que queremos avaliar. No caso da EV, esses parâmetros são princípios da QV. Assim foram pré-estabelecidos critérios, apresentados no Quadro 1, para pontuar cada substância de acordo com os perigos físicos, para saúde humana e para o ambiente,

segundo a regulamentação do Sistema Globalmente harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS).

Quadro 1. Pontuação e classificação dos perigos das substâncias para construção da métrica Estrela Verde (EV) (Green Star), segundo a regulamentação Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS)

Perigo		Código de perigo (GHS)	P ₁
FÍSICO	Advertências de perigo	H200, H201, H202, H203, 205 H220, H222, H224, H225, H228 (categoria 1), H270 H271, H272(categoria 2) H240, H241, H242(Tipo C & D), H250, H260, H261(categoria2) H251, H270, H271, H272(categoria 2)	3
		H221, H223, H226, H228(categoria 2), H242(Tipo E & F), H252, H261(categoria3), H280, H281	2
		Sem indicação	1
	Advertências de perigo adicionais utilizadas apenas na União Europeia	EUA001, EUH006, EUH014, EUH018, EUH019, EUH044, EUH209	3
		EUH209A	2
		Sem indicação	1
SAÚDE HUMANA	Advertências de perigo	H300, H301, H304, H310, H311, H314, H318, H330, H331, H334, H340, H350, H360, H370, H372	3
		H302, H312, H315, H317, H319, H332, H335, H336, H341, H351, H361, H362, H371, H373	2
		Sem indicação	1
	Advertências de perigo adicionais utilizadas apenas na União Europeia	EUH029, EUH031, EUH032, EUH070, EUH071, EUH201, EUH202, EUH206, EUH207	3
		EUH066, EUH201A, EUH203, EUH204, EUH205, EUH208	2
		Nenhuma indicação	1
AMBIENTE	Advertências de perigo	H400, H401, H410, H411, H420	3
		H402, H412, H413	2
		Nenhuma indicação	1
	Advertências de perigo adicionais utilizadas apenas na União Europeia	EUH059	3
		Nenhuma indicação	1

P₁ = Pontuação-Fonte: RIBEIRO; YUNE; MACHADO, 2014.

Para pontuar as substâncias de acordo com a sua degradabilidade e renovabilidade, foram pré-estabelecidos os critérios apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Critérios para pontuação das substâncias quanto à degradabilidade e à renovabilidade para construção da EV

Degradabilidade e renovabilidade das substancias envolvidas		
Características	Critérios	P ₁
Degradabilidade	Degradáveis com produtos de degradação inócuos	1
	Não degradáveis, mas que possam ser tratados para se obter a sua degradação em produtos de degradação inócuos	2
	Não degradáveis e que não possam ser tratados para se obter a sua degradação em produtos de degradação inócuos	3
Renovabilidade	Renováveis	1
	Não renováveis	3

P₁ = Pontuação - Fonte: RIBEIRO; COSTA; MACHADO, 2010

A cada princípio avaliado é atribuída uma pontuação de 1 a 3, crescente com o grau verde (greenness), devendo ser pontuados de acordo com os critérios pré-estabelecidos e apresentado no Quadro 3. A pontuação tem o seguinte significado:

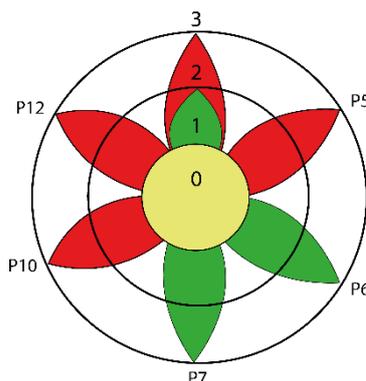
- (3) = Plenamente verde (Caso Ideal: composto, reação, etc., benigno);
- (2) = Moderadamente verde (aceitável, embora com algumas restrições);
- (1) = Ausência total de verdura química (casos malignos ou vermelhos).

Para exemplificar, observe a Figura 1, que apresenta uma EV de seis pontas para um experimento no qual foram avaliados os seis Princípios: (P1), (P5), (P6), (P7), (P10) e (P12). Os Princípios P5, P10 e P12 receberam pontuação 1 (casos malignos ou vermelhos), o Princípio 1 recebeu pontuação 2 (aceitável, embora com algumas restrições) e os Princípios 6 e 7 receberam pontuação 3 (caso Ideal, plenamente verde).

O que fazer quando não conseguimos avaliar um determinado princípio do nosso experimento?

Quando a avaliação não puder ser feita, seja por falta de dados ou resultados/dados não confiáveis, atribui-se o valor 1, o que significa aplicar o princípio da precaução.

Figura 1. Estrela Verde (Green Star)6 Pontas (6 Princípios)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Quadro 3. Critérios para pontuar os Princípios da QV para construção da EV

Princípio da QV	Critérios	P
P1 Prevenção	Todos os resíduos são inócuos ($P_1=1$, Quadro 1)	3
	Resíduos que envolvam perigo moderado para saúde e ambiente ($P_1=2$, Quadro 1, pelo menos para uma substância, sem substância com $P=3$)	2
	Formação de pelo menos um resíduo que envolva perigo elevado para saúde e ambiente ($P_1=3$, Quadro 1)	1
P2 Economia atômica	Reações sem reagentes em excesso ($\leq 10\%$) e sem formação de coprodutos	3
	Reações sem reagentes em excesso ($\leq 10\%$) e com formação de coprodutos	2
	Reações com reagentes em excesso ($>10\%$) e sem formação de coprodutos	2
	Reações com reagentes em excesso ($>10\%$) e com formação de coprodutos	1
P3 Sínteses menos perigosas	Todas as substâncias envolvidas são inócuas ($P_1=1$, Quadro 1)	3
	As substâncias envolvidas apresentam perigo moderado para saúde e ambiente ($P_1=2$, Quadro 1, pelo menos para uma substância, sem substância com $P=3$)	2
	Pelo menos uma das substâncias apresenta perigo elevado para saúde e ambiente ($P_1=3$, Quadro 1)	1
P5 Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	Os solventes e as substâncias auxiliares envolvidas não existem ou são inócuas ($P_1=1$, Quadro 1)	3
	Os solventes e as substâncias auxiliares usadas envolve perigo moderado para saúde e ambiente ($P_1=2$, Quadro 1, pelo menos para uma substância, sem substâncias com $P=3$)	2
	Pelo menos um dos solventes ou uma das substâncias auxiliares usadas envolve perigo elevado para saúde e ambiente ($P_1=3$, Quadro 1)	1
P6 Planificação para conseguir eficácia energética	Temperatura e pressão ambiente	3
	Pressão ambiente e temperatura entre 0°C e 100°C que implique arrefecimento ou aquecimento	2
	Pressão diferente da ambiente e/ou temperatura $> 100^\circ\text{C}$ ou menor que 0°C	1
P7 Uso de matérias primas renováveis	Todos os reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos são renováveis ($P_1=1$, Quadro 2)	3
	Pelo menos um dos reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos é renovável, não se considera a água ($P_1=1$, Quadro 2)	2
	Nenhum dos reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos é renovável, não se considera a água ($P_1=3$, Quadro 2)	1

Quadro 3. Critérios para pontuar os Princípios da QV para construção da EV
(continuação)

Princípio da QV	Critérios	P
P8 Redução de derivatizações	Sem derivatizações ou com uma etapa	3
	Usa-se apenas uma derivatização ou duas etapas	2
	Usam-se várias derivatizações ou mais do que duas etapas	1
P9 Catalisadores	Não se usa catalisadores ou são inócuos ($P_1=1$, Quadro 1)	3
	Utilizam catalisadores que envolvem perigo moderado para saúde e ambiente ($P_1=2$, Quadro 1)	2
	Utilizam catalisadores que envolvem perigo elevado para saúde e ambiente ($P_1=3$, Quadro 1)	1
P10 Planificação para a degradação	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis com os produtos de degradação inócuos ($P_1=1$, Quadro 2)	3
	Todas que não são degradáveis podem ser tratados para obter a sua degradação com os produtos de degradação inócuos ($P_1=2$, Quadro 2)	2
	Pelo menos uma das substâncias não é degradável nem pode ser tratada para obter a sua degradação ($P_1=3$, Quadro 2)	1
P12 Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	As substâncias envolvidas apresentam perigo baixo de acidente químico ($P_1=1$, Quadro 1, considerando perigos físicos e à saúde)	3
	As substâncias envolvidas apresentam perigo moderado de acidente químico ($P_1=2$, Quadro 1, pelo menos para uma substância, sem substância com $P=3$, considerando perigos físicos e à saúde)	2
	As substâncias envolvidas apresentam perigo elevado de acidente químico ($P_1=3$, Quadro 1, considerando perigos físicos e à saúde)	1

Fonte: RIBEIRO; COSTA; MACHADO,2010.

Nesta atividade, você deverá

- 1- Pontuar todas as substâncias utilizadas de acordo com os critérios.
- 2- Pontuar todos os princípios envolvidos na sua atividade experimental.

PASSOS PARA REALIZAR A PONTUAÇÃO

1º Passo: Abrir o arquivo da sua planilha.

2º Passo: Preencher o Quadro 2 na aba "Substâncias/Pontuação" consultando os dados do Quadro 1 na mesma aba.

3º Passo: Consultar os critérios apresentados anteriormente, nos Quadros 1 (Pontuação e classificação dos perigos das substâncias para construção da métrica Estrela Verde (EV) (Green Star), segundo a regulamentação Sistema Globalmente Harmonizado de Classificação e Rotulagem de Produtos Químicos (GHS)) e o Quadro 2 (Critérios para pontuação das substâncias quanto à degradabilidade e à renovabilidade). Se uma substância apresentar mais de um código GHS para um

mesmo perigo, considere o mais penalizador para atribuir a pontuação. Veja o exemplo na Tabela 1:

Tabela 1: Pontuação para substâncias que apresentam mais de um código GHS

Substância	Códigos GHS = Pontuação	Pontuação
X	H225 = 3 H229 = 2 H252 = 2	3
Y	H300 = 3 H315 = 2 H340 = 3	3
Z	H402 = 2 H413 = 2	2

OBSERVAÇÃO

- Códigos que iniciam com **H2** referem-se a perigo físico.
- Códigos que iniciam com **H3** referem-se a perigo para Saúde Humana.
- Códigos que iniciam com **H4** referem-se a perigo para o ambiente.

4º Passo: Preencher o Quadro 3 na aba "Substâncias/Pontuação". Para preencher o Quadro 3 utilize os dados do Quadro 2. Consulte os critérios apresentados anteriormente, no Quadro 3, para descobrir a pontuação de cada princípio.

Questão 1. Anexe sua planilha preenchida.

Para saber mais

RIBEIRO, M. G. T. C.; YUNES, S. F.; MACHADO, A. A. S. C. Assessing the Greenness of Chemical Reactions in the Laboratory Using Updated Holistic Graphic Metrics Based on the Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals, **Journal of Chemical Education**, 91, 1901-1908, 2014.

ANEXO H. Atividade 5

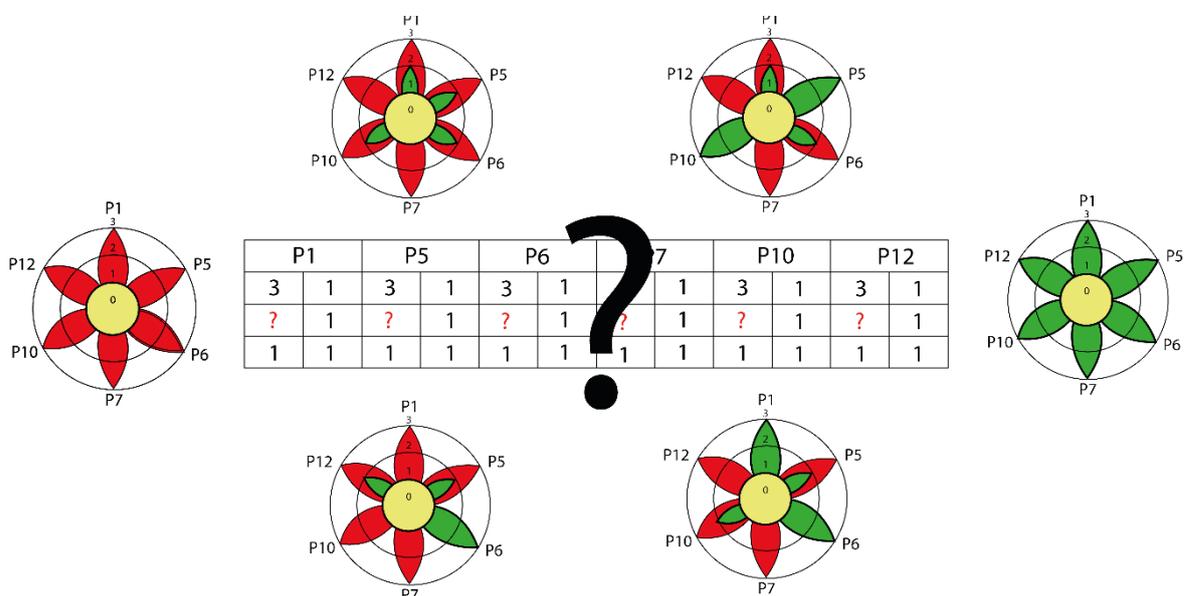
O experimento avaliado atende aos princípios da Química Verde?

Agora que você já tem todos os dados, é hora de criar a Estrela Verde (Green Star) e responder:

- O experimento realizado atende aos princípios da Química Verde?

Para responder esta pergunta, vamos utilizar a métrica gráfica Estrela Verde.

A EV é um gráfico radial que pode ser criado utilizando planilhas eletrônicas.



Como criar um gráfico radial na planilha do Google?

1º Passo: Abrir o arquivo que contém a sua planilha.

2º Passo: Passo 2 - Na Aba "Estrela", preencha as células em azul da linha do "Experimento em análise", Quadro 4 da planilha, com os valores atribuídos aos princípios, localizados no Quadro 3, segunda Aba da sua planilha.

A primeira linha (célula verde) refere-se a uma experiência ideal, experimento plenamente verde, onde cada um dos princípios é preenchido com a pontuação 3. A célula seguinte é preenchida pelo valor 1.

A segunda linha (célula azul) refere-se a uma experiência real, experimento que você quer analisar. Cada um dos princípios é preenchido com a pontuação que você determinou a partir dos seus dados e dos critérios pré-estabelecidos (Atividade 4). A célula seguinte é preenchida pelo valor 1.

A terceira linha (célula vermelha) refere-se a uma experiência execrável, ausência total de qualquer grau verde (greenness), onde cada um dos princípios é preenchido com a pontuação 1. A célula seguinte é preenchida pelo valor 1.

A Figura 1 apresenta uma tabela preenchida com todos os dados necessários para gerar a EV de um experimento.

Figura 1. Modelo de tabela preenchida com dados para construir EV

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Princípio	P1		P5		P6		P7		P10		P12	
2													
3	Protocolo Ideal	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1
4	Protocolo em Análise	2	1	3	1	1	1	2	1	2	1	2	1
5	Protocolo Execrável	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Pontuação dos Princípios do Protocolo em Análise

Fonte: Elaborada pelo autor.

3º Passo: Selecionar todas as informações da tabela para gerar o gráfico.

- Após a finalização da sua tabela, selecione TODAS as células que foram preenchidas somente com números. Clique em "Inserir".

4º Passo: Escolher o tipo de gráfico.

- Selecione o gráfico de radar (Figura 2).

Figura 2. Seleção do gráfico radar

A imagem mostra a interface de usuário do 'Editor de gráficos', dividida em duas abas: 'DADOS' (ativa) e 'PERSONALIZAR'.
- Na aba 'DADOS', o campo 'tipo de gráfico' apresenta um menu suspenso com 'Gráfico de radar' selecionado.
- Abaixo, o 'Intervalo de dados' é configurado para 'A3:M5'.
- O campo 'EIXO X' contém um botão 'Adicionar Eixo X'.
- O campo 'SÉRIE' lista três séries: '123 Protocolo Ideal', '123 Protocolo em Análise' e '123 Protocolo Execrável', cada uma com um ícone de menu suspenso. Um botão 'Adicionar Série' está disponível na base.

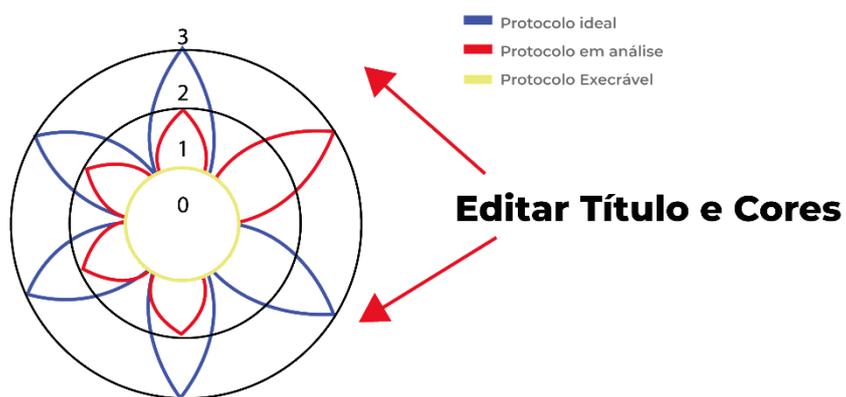
Fonte: Elaborada pelo autor.

5º Passo: Editar o gráfico.

- Para finalizar a construção da Estrela Verde, edite o seu gráfico (Figura 3).

Figura 3. Edição do gráfico

Protocolo Ideal, Protocolo em Análise, Protocolo Execrável

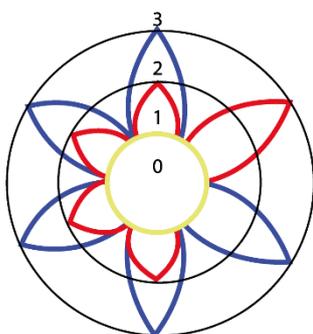


Fonte: Elaborada pelo autor.

- Título: clique com o botão direito sobre o título para obter as opções para a sua edição (Figura 4).

Figura 4. Edição do gráfico

ESTRELA VERDE



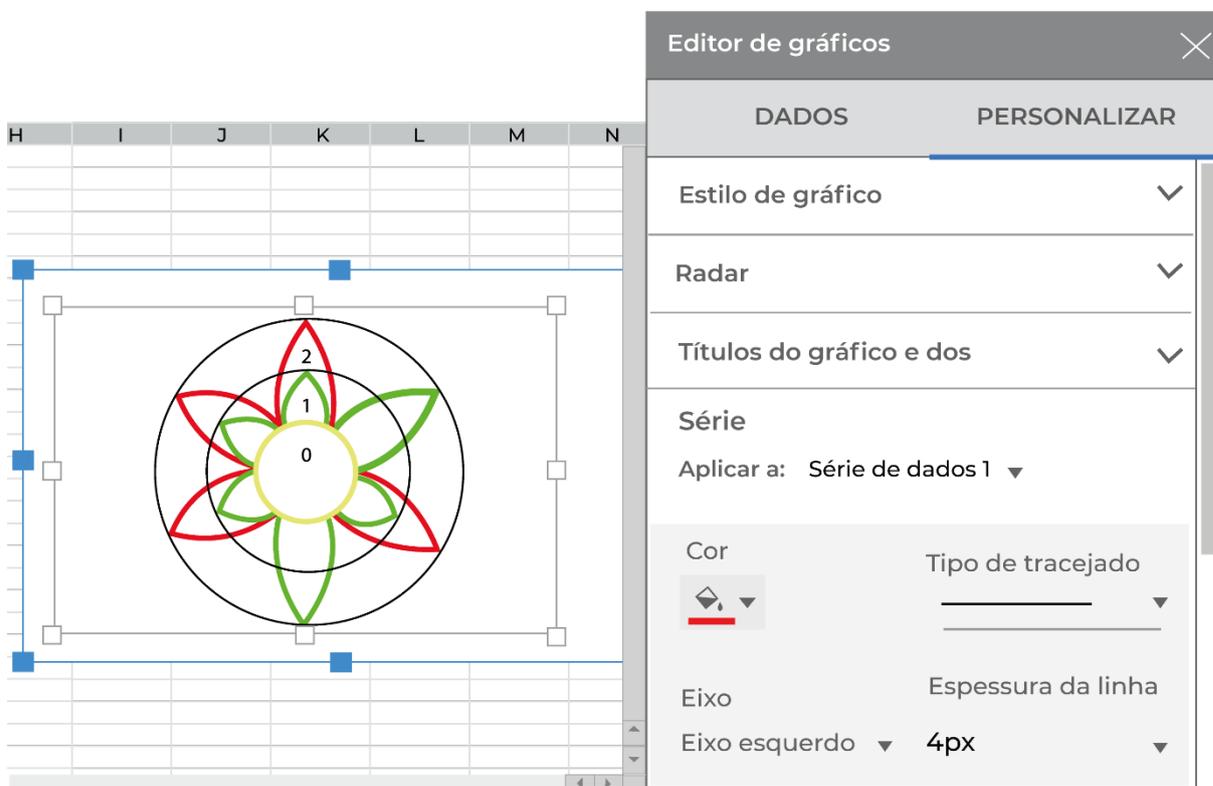
- Protocolo ideal
- Protocolo em análise
- Protocolo Execrável

Editor de gráficos	
DADOS	PERSONALIZAR
Estilo de gráfico	▼
Radar	▼
Títulos do gráfico e dos	
Tipo Título do gráfico	
Texto do título	
ESTRELA VERDE	
Fonte do título	Tamanho da fonte do título
Roboto ▼	Automático ▼
Formato do título	Cor de texto do título
B <i>I</i> ≡ ▼	<u>A</u> ▼

Fonte: Elaborada pelo autor.

- Preenchimento: clique com o botão sobre a linha a ser preenchida para obter as opções para a sua edição (Figura 5).

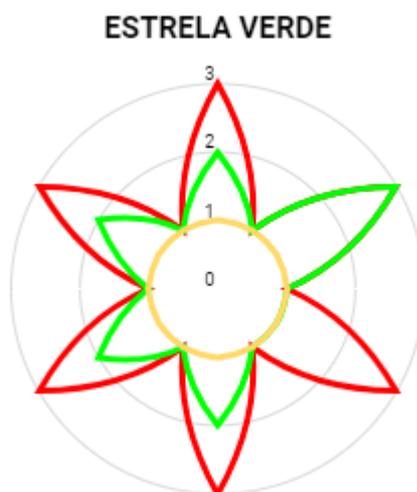
Figura 5. Edição do gráfico



Fonte: Elaborada pelo autor.

6º Passo:- Gráfico finalizado! (Figura 6).

Figura 6. Gráfico finalizado



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para identificar as pontas da estrela referentes a cada princípio analisado, pode-se utilizar outras ferramentas de edição.

Questão 1. Anexe sua planilha e o gráfico editado.

Questão 2. Considere a EV construída e discuta em quais aspectos o experimento atende aos princípios da Química Verde.

Questão 3. Proponha uma alternativa para esverdear este experimento.

Para saber mais

RIBEIRO, M. G. T. C.; COSTA, D. A.; MACHADO, A. A. S. C. Uma métrica gráfica para a avaliação holística da verdures de reações laboratoriais “Estrela Verde”. **Qui. Nova**, v.33, n3, p. 759-764, 2010.

COSTA, D. A.; RIBEIRO, M. G. T. C.; MACHADO, A. A. S. C., Análise da Verdures das Actividades Laboratoriais do 11º Ano do Ensino Secundário, Química, **Bol. S. P. Q.**, 2011, 123, 63.