

DOMINIQUE AZEVEDO COSTA

**MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO DA QUÍMICA
VERDE – APLICAÇÃO NO ENSINO
SECUNDÁRIO**



**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA E BIOQUÍMICA
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO
2011**

Tese submetida à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto para
obtenção do grau de Doutor em Ensino e Divulgação das Ciências

Tese orientada por Professor Doutor Adélio Alcino Sampaio Castro Machado e
Professora Doutora Gabriela Ribeiro do Departamento de Química e Bioquímica
da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não teria sido possível sem a ajuda, colaboração e incentivo de muitas pessoas às quais agradeço o apoio dado:

Em primeiro lugar, à Professora Doutora Gabriela Ribeiro que acreditou em mim aceitando-me como sua orientanda, e sem a qual seria impossível a realização desta dissertação. A sua total disponibilidade e dedicação desde o primeiro momento, os seus preciosos ensinamentos, o seu tremendo apoio e acompanhamento permitiram-me levar a “bom porto” este trabalho. Acima de tudo, agradeço o acompanhamento numa jornada que já havia sido iniciada no mestrado e o estímulo incessante no que concerne ao interesse pelo conhecimento e pela vida académica.

Ao Professor Doutor Adélio Machado, que aceitou ser meu orientador desta investigação, pela disponibilidade revelada ao longo do trabalho. Agradeço a partilha do saber e as valiosas contribuições para o trabalho. As suas observações e conselhos foram determinantes para o resultado final. Pela serenidade que sempre me transmitiu, um muito e reconhecido obrigada.

À minha família, pelo apoio e incentivo proporcionados, nomeadamente ao meu marido e aos meus pais, que sempre me incentivaram e apoiaram. O orgulho que sentem por mim e o suporte emocional e segurança que me proporcionaram, permitiram que superasse os meus receios, as minhas indecisões, e no final, as minhas expectativas. Sempre que os procurei, na necessidade de uma palavra de motivação e conforto, encontrei aquilo de que necessitava.

Uma palavra de apreço aos colegas Maria José Borges, José Ricardo Pinto e Tânia Pires com quem partilhei reflexões e ideias.

Por último, a todos aqueles que embora não enuncie, com a sua preocupação, diligência, tranquilidade e subtileza me permitiram concretizar mais esta etapa da minha vida.

RESUMO

Neste trabalho desenvolveu-se e testou-se uma métrica holística semi-quantitativa de verdura – a Estrela Verde (EV) – para avaliar a verdura das atividades experimentais, nomeadamente em laboratórios de ensino, no âmbito da Química Verde (QV). Esta métrica foi utilizada na avaliação da verdura das atividades laboratoriais dos atuais programas de Química do 10º e 11º ano, o que permitiu verificar a existência de variados problemas quanto à verdura das experiências e sugere que parte destas devem ser revistas ou substituídas. A EV mostrou-se uma métrica útil e eficaz para avaliação da verdura de experiências, nomeadamente reações químicas, uma vez que tem em linha de conta os 12 princípios da QV de uma forma global e sistemática. Para além disso, a EV tem outras vantagens, tais como: é sensível a variações da verdura atómica da reação, pode ser usada na avaliação prévia da verdura de uma reação química a partir de um protocolo, permite detetar, por simples inspeção visual, quais os aspetos a otimizar para conseguir uma maior verdura e é de construção simples.

Noutra linha de trabalho, para analisar e avaliar as atividades laboratoriais numa perspetiva Ciência, Tecnologia, Sociedade e Sustentabilidade (CTSS), construiu-se uma ferramenta SWOT, englobando na avaliação aspetos relacionados com a Tecnologia, Sociedade e Sustentabilidade. As atividades experimentais dos atuais programas foram avaliadas do ponto de vista do cumprimento da postura CTSS, tendo-se concluído que uma percentagem significativa das atividades não apresenta adequação a esta. A análise SWOT poderá ser útil na avaliação, no desenho, ou no redesenho de atividades laboratoriais, tendo em vista a sua inserção num ensino da Química de cariz CTSS.

Realizaram-se ainda reações de síntese, o ciclo do cobre e a síntese da dibenzalacetona, com o objetivo de avaliar a variação de verdura química utilizando métricas de QV, incluindo a EV, nomeadamente eventuais influências na verdura, de mudanças para optimização de sínteses e de escala de realização laboratorial. Concluiu-se que, para estimular a aquisição de conhecimentos sobre QV, a realização das sínteses em sala de aula deve seguir uma metodologia que permita aos alunos pensarem e aplicarem os princípios da QV em situações reais, avaliando a verdura dos protocolos propostos e de possíveis alterações introduzidas, e encontrarem confirmação experimental através do cálculo de métricas da QV

Finalmente, o presente trabalho, permitiu concluir que é imprescindível incorporar nos currículos de Química do secundário novos conceitos para inclusão da nova postura de ensino e prática da Química que é a QV, nomeadamente sobre os princípios e as métricas, sendo para isso a realização de atividades experimentais um dos caminhos a seguir.

ABSTRACT

In this work, a semi-quantitative holistic metric for the evaluation of the global greenness of chemical reactions in Green Chemistry (GC), to be used in teaching laboratories, was developed and tested – the Green Star (GS). This metric was used to evaluate the greenness of laboratory experiments included in the actual chemistry curricula of the 10th and 11th years. It was concluded that the experiments show poor greenness, suggesting that they should be reviewed. The GS was found to be useful and efficient in the evaluation of greenness, due to the consideration of the 12 principles of GC in a systematic and global way. Moreover, the GS has other advantages, such as, it may be used to evaluate the greenness of a chemical reaction without performing the experiment from a protocol, it allows immediate identification by direct visual analysis of the aspects that require optimization to improve greenness and it is easy to construct.

In another line of work, the laboratory experiments were analyzed to evaluate whether they are suitable to be included in a Science, Technology, Society and Sustainability (STSS) paradigm for teaching chemistry. A SWOT instrument was constructed and the framework for the analysis refers to chemistry in its relation with technology and sustainability, infused into the social environment. The same laboratory experiments referred above were evaluated in this new perspective and it was concluded that a significant percentage of the experiments is not adequate to a STSS perspective. The SWOT analysis seems to be useful to evaluate and guide the design of laboratory experiments aimed at a STSS paradigm, for teaching chemistry.

Synthesis reactions were also performed (the copper cycle and the dibenzalacetone synthesis), with the objective of assessing the effect of scale and optimization on greenness, using GC metrics, including the GS. In teaching laboratories, laboratory experiments that include syntheses should use a strategy where the students become familiar with the principles of GC and their application in real situations, assessing the greenness of the protocols, introducing changes to pursue greener ones and finding experimental confirmation with the calculation of GC metrics.

Finally, the present work takes to the conclusion that it is crucial to incorporate GC in the chemistry curricula and in the practice of chemistry teaching, namely the principles and the metrics, the laboratory work being one way to pursue this aim.

RÉSUMÉ

Dans ce travail, on a développé et on a expérimenté une métrique holistique semi-quantitative de verdure - l'Étoile Verte (EV) - pour évaluer la verdure des activités expérimentales, notamment dans les laboratoires d'enseignement, dans le contexte de la Chimie Verte (CV). Cette métrique a été utilisée dans l'évaluation de la verdure des activités de laboratoire des actuels programmes de Chimie de la 10^{ème} et 11^{ème} année, ce qui a permis de vérifier l'existence de divers problèmes en ce qui concerne les verdures des expériences et suggère qu'une partie de celles-ci doit être révisée ou être remplacée. L'EV s'est montrée une métrique utile et efficace pour l'évaluation de la verdure des expériences, notamment des réactions chimiques, vu qu'elle a en compte les 12 principes de la CV d'une forme globale et systématique. En outre, l'EV a d'autres avantages, tels que: elle est sensible aux changements de la verdure atomique de la réaction; peut être utilisée dans l'évaluation préalable de la verdure d'une réaction chimique à partir d'un protocole; permet de détecter, par simple inspection visuelle, les aspects à optimiser pour réussir une meilleure verdure, et elle est de construction simple.

Dans une autre ligne de travail, pour analyser et évaluer les activités en laboratoire dans une perspective Science, Technologie, Société et Développement Soutenable (STSS), on a construit un outil SWOT, en englobant dans l'évaluation des aspects liés à la Technologie, la Société et le Développement Soutenable. Les activités expérimentales des actuels programmes ont été évaluées du point de vue de l'accomplissement de la position STSS, en ayant conclu qu'un pourcentage significatif des activités ne présente pas adéquation à celle-ci. L'analyse SWOT pourra être utile dans l'évaluation, dans le dessin, ou dans le remodelle d'activités en laboratoire, en vue de son insertion dans un enseignement de la Chimie de caractère STSS.

On a réalisé encore des réactions de synthèse, le cycle du cuivre et la synthèse de la dibenzalacetone, afin d'évaluer la variation de la verdure chimique en utilisant métriques de CV, y compris EV, notamment éventuelles influences dans la verdure, de changements pour l'optimisation de synthèses et d'échelle de réalisation en laboratoire. On a conclu que, pour stimuler l'acquisition de connaissances sur CV, la réalisation des synthèses dans salle de classe doit suivre une méthodologie qui permette aux élèves de réfléchir et d'appliquer les principes de la CV dans des situations réelles, en évaluant la verdure des protocoles proposés et des possibles changements introduits, et trouver la confirmation expérimentale à travers le calcul de métriques de la CV.

Finally, this work has allowed us to conclude that it is indispensable to integrate into secondary chemistry programs new concepts for the inclusion of the new position of teaching and the practice of chemistry, which is CV, in particular on principles and metrics, so that the realization of experimental activities will be one of the paths to follow.

LISTA DE ABREVIATURAS

AE	Economia atômica percentual
AU	Utilização atômica percentual
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
CTSS	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Sustentabilidade
CV	Círculo Verde
EV	Estrela verde
MI	Intensidade de Massa
QV	Química Verde
RME	Eficiência de massa da reação
XEE	Eficiência elementar percentual do elemento X

ÍNDICE

Agradecimentos	I
Resumo	III
Abstract	IV
Résumé	V
Lista de abreviaturas	VII
Índice	VIII
Índice de tabelas	XII
Índice de quadros	XIV
Índice de figuras	XV
1. Introdução	1
1.1. Introdução à Química Verde	2
1.2. Ensino da Química Verde	4
1.2.1. Objetivos, benefícios e dificuldades	4
1.2.2. Avaliação da verdura	7
1.2.3. Química Verde e microescala	8
1.2.4. A importância do desenvolvimento de materiais didáticos e da sua divulgação	9
1.3. Finalidades da tese	10
1.4. Objetivos da tese	12
1.5. Estrutura da tese	12
1.6. Bibliografia	14
2. Revisão Bibliográfica sobre o ensino da Química Verde	17
2.1. Objetivo	17
2.2. Revisão bibliográfica	17
2.3. Discussão	21
2.4. Conclusão	23
2.5. Bibliografia	24
3. Métricas de Avaliação de Verdura – Estrela Verde	35
3.1. Objetivos	35
3.2. Fundamentação da EV e sua construção	35
3.2.1. Definição de critérios	35
3.2.2. Construção da EV	42
3.3. Exemplos	43
3.3.1. Exemplo 1: EV de uma experiência constituída por uma reação de síntese	43
3.3.2. Exemplo 2: EV de uma experiência que não envolve uma reação de síntese	47
3.3.3. Exemplo 3: EV de uma experiência que não envolve uma reação de síntese e as EV obtidas pelos dois processos são iguais	49
3.3.4. Comparação dos resultados	51

3.4.	Discussão e conclusões	52
3.4.1.	Dificuldades na construção	52
3.4.2.	Limitações	53
3.4.3.	Conclusões	53
3.5.	Bibliografia	54
4.	Avaliação da Verdura das Experiências Propostas no Currículo de Química do Ensino Secundário	55
4.1.	Objetivos	55
4.2.	Atividades Laboratoriais avaliadas do 10º Ano utilizando a EV	55
4.2.1.	AL 0.1 – Separar e purificar	57
4.2.2.	AL 1.1 – Medição em Química	60
4.2.3.	AL 1.2 – Análise elementar por via seca	60
4.2.4.	AL 1.3 – Identificação de uma substância e avaliação da sua pureza	63
4.2.5.	AL 2.1 – Soluções e coloides	67
4.2.6.	Discussão dos resultados	69
4.3.	Atividades laboratoriais avaliadas do 11º Ano utilizando a EV	70
4.3.1.	AL 1.1 – Amoníaco e compostos de amónio em materiais de uso comum	73
4.3.2.	AL 1.2 – Síntese do sulfato de tetraaminocobre(II) monoidratado	76
4.3.3.	AL 1.3 – Efeitos da temperatura e da concentração na progressão global de uma reação	77
4.3.4.	AL 2.1 – Ácido ou base: uma classificação de alguns materiais	79
4.3.5.	AL 2.2 – Chuva “normal” e chuva “ácida”	82
4.3.6.	AL 2.3 – Neutralização: uma reação de ácido-base	85
4.3.7.	AL 2.4 – Série eletroquímica: o caso dos metais	87
4.3.8.	AL 2.5 – Solubilidade: solutos e solventes	89
4.3.9.	AL 2.6 – Dureza da água e problemas de lavagem	93
4.3.10.	Discussão dos resultados	95
4.4.	Círculo Verde	96
4.4.1.	Atividades laboratoriais avaliadas do 10º Ano utilizando o CV	98
4.4.2.	Atividades laboratoriais avaliadas do 11º Ano utilizando o CV	101
4.4.3.	Discussão dos resultados	106
4.5.	Conclusões	107
4.6.	Bibliografia	112
5.	Avaliação da Vertente CTSS das Experiências Propostas no Currículo de Química do 10º e 11º Anos do Ensino Secundário	115
5.1.	Introdução - Breve abordagem sobre o paradigma CTSS	115
5.2.	Objetivos	116
5.3.	Desenvolvimento do instrumento de avaliação - SWOT	117
5.3.1.	Análise interna	118
5.3.2.	Análise externa	120
5.4.	Análise SWOT das atividades experimentais dos 10º e 11º Anos	122
5.4.1.	Exemplos da aplicação da análise SWOT	124

5.4.2.	Resultados da aplicação da análise SWOT	129
5.5.	Discussão dos resultados da análise SWOT	134
5.5.1.	Identificação global dos pontos fortes e fracos	134
5.5.2.	Avaliação da frequência de pontos fortes e fracos	134
5.5.3.	Avaliação de cada experiência relativamente aos pontos fortes e fracos	135
5.5.4.	Relevância do CTSS	137
5.6.	Conclusões	138
5.7.	Bibliografia	140
6.	Reações de síntese	141
6.1.	Objetivo geral	141
6.2.	Verdura química e sua avaliação	141
6.2.1.	Métricas de massa da Química Verde	142
6.2.2.	Métricas holísticas	145
6.2.3.	Métrica energética	146
6.3.	Ciclo do cobre	146
6.3.1.	A reciclagem do cobre na Química real	146
6.3.2.	Objetivos	148
6.3.3.	Trabalho experimental	148
6.3.3.1.	Estratégia para o trabalho experimental	148
6.3.3.2.	Ciclo do cobre a microescala	149
6.3.3.3.	Otimização do ciclo do cobre a microescala	153
6.3.3.4.	Ciclo do cobre a macroescala	153
6.3.4.	Resultados experimentais	154
6.3.5.	Discussão dos resultados	155
6.3.6.	Conclusões da experiência do ciclo do cobre	158
6.4.	Síntese da dibenzalacetona	159
6.4.1.	Reação de síntese	159
6.4.2.	Objetivos	160
6.4.3.	Trabalho experimental	161
6.4.3.1.	Análise dos protocolos experimentais	162
6.4.3.2.	Síntese da dibenzalacetona	166
6.4.3.3.	Síntese da dibenzalacetona a diferentes escalas	167
6.4.4.	Resultados experimentais	168
6.4.5.	Discussão dos resultados	169
6.4.6.	Experiência exploratórias	174
6.4.7.	Conclusões das sínteses da dibenzalacetona	176
6.5.	Conclusões finais	177
6.6.	Bibliografia	178
7.	Conclusões	181
7.1.	Resultados obtidos e concretização dos objetivos	181
7.2.	Conclusões finais	183

8. Anexos	185
Anexo I – Atribuição da pontuação nos HMIS	187
Anexo II – Construção das EV para as atividades laboratoriais do 10º Ano utilizando os símbolos	189
Anexo III – Construção das EV para as atividades laboratoriais do 11º Ano utilizando os símbolos	201
Anexo IV – Análise SWOT CTSS do 10º Ano	227
Anexo V – Análise SWOT CTSS do 11º Ano	245
Anexo VI - Dedução das métricas	275
Anexo VII – Detalhes experimentais do ciclo do cobre	283
Anexo VIII – Análise dos protocolos para a síntese da dibenzalacetona	301

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Distribuição dos artigos por classes e anos	18
Tabela 3.1. Riscos para a saúde humana e o ambiente das substâncias envolvidas considerando os símbolos das frases de risco	39
Tabela 3.2. Riscos para a saúde humana e o ambiente das substâncias envolvidas considerando os HMIS	39
Tabela 3.3. Riscos de acidente das substâncias envolvidas considerando símbolos das frases de risco	39
Tabela 3.4. Riscos de acidente das substâncias envolvidas considerando os HMIS	40
Tabela 3.5. Características de degradabilidade e renovabilidade das substâncias envolvidas	40
Tabela 3.6. Componentes e pontuações para construir a EV	41
Tabela 3.7. Riscos e pontuações dos riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas considerando os símbolos na AL 1.2 do 11º Ano	44
Tabela 3.8. Riscos e pontuações dos riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas considerando os HMIS na AL 1.2 do 11º Ano	44
Tabela 3.9. Pontuações para construir as EV da AL 1.2 do 11º Ano	45
Tabela 3.10. Riscos e pontuações dos riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas considerando os símbolos na AL 2.5 do 11º Ano	47
Tabela 3.11. Riscos e pontuações dos riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas considerando os HMIS na AL 2.5 do 11º Ano	48
Tabela 3.12. Pontuações para construir as EV da AL 2.5 do 11º Ano	48
Tabela 3.13. Riscos e pontuações dos riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas considerando os símbolos na AL 0.1 do 10º Ano	50
Tabela 3.14. Riscos e pontuações dos riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas considerando os HMIS na AL 0.1 do 10º Ano	50
Tabela 3.15. Pontuações para construir as EV da AL 0.1 do 10º Ano	50
Tabela 3.16. Comparação das EV construídas pelos dois métodos	52
Tabela 4.1. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente das substâncias envolvidas nas AL do 10º Ano	57
Tabela 4.2. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente das substâncias envolvidas nas AL do 11º Ano	72
Tabela 4.3. Critérios para avaliação do cumprimento dos Princípios da QV na construção do CV	97
Tabela 4.4. Critérios para avaliar os riscos para a saúde, ambiente e de acidente químico devido às substâncias envolvidas	97
Tabela 4.5. Incorporação da QV no ensino da Química	111
Tabela 5.1. Critérios para a contabilização dos pontos fortes e fracos	120
Tabela 5.2. Oportunidades e ameaças – aspetos a considerar nas dimensões de análise	121
Tabela 5.3. Experiências avaliadas	123
Tabela 5.4. Matrizes SWOT para experiências 4, 10 e 11 do 10º Ano	125
Tabela 5.5. Matrizes SWOT para experiências 1-4, 40 e 41 do 11º Ano	126
Tabela 5.6. Matrizes SWOT para experiência 5 do 11º Ano	127

Tabela 5.7. Resumo dos pontos fortes e fracos para as experiências do 10º e 11º Anos	130
Tabela 5.8. Resumo das oportunidades e ameaças para as experiências dos 10º e 11º Anos	131
Tabela 5.9. Resumo dos pontos fortes e fracos das experiências do 10º Ano	131
Tabela 5.10. Resumo dos pontos fortes e fracos das experiências do 11º Ano	132
Tabela 6.1. Relação entre as métricas de massa da QV e o rendimento	145
Tabela 6.2. Métricas de massa para o ciclo do cobre	154
Tabela 6.3. Comparação entre as EV obtidas para as fases de síntese, de recristalização e para o processo global nos vários protocolos	163
Tabela 6.4. Proporções de reagentes utilizadas	168
Tabela 6.5. Métricas de massa para a síntese da dibenzalacetona	168
Tabela 6.6. Tempo de reação e energia consumida	169
Tabela 6.7. Ponto de fusão da dibenzalacetona	169
Tabela 6.8. Tempo, energia e volume de água gasto nos vários processos de filtração	174

ÍNDICE DOS QUADROS

Quadro 2.1. Justificação mais vulgares da verdura alcançada nas novas experiências propostas	22
Quadro 3.1. Os Doze Princípios da Química Verde	36
Quadro 4.1. Atividades laboratoriais avaliadas do 10º Ano	56
Quadro 4.2. Atividades laboratoriais avaliadas, da unidade “Química e Indústria: Equilíbrios e Desequilíbrios” do 11º Ano	70
Quadro 4.3. Atividades laboratoriais avaliadas, da unidade “Da Atmosfera ao Oceano: Soluções na Terra e para a Terra” do 11º Ano	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Distribuição dos artigos de índole educacional sobre QV por ano de publicação	19
Figura 2.2. Distribuição dos artigos de índole educacional sobre QV por área temática	20
Figura 3.1a. Estrela de verdura máxima	42
Figura 3.1b. Estrela de verdura mínima	42
Figura 3.2. Construção da tabela em Excel	45
Figura 3.3. Construção gráfica da EV	46
Figura 3.4. EV da AL 1.2 do 11º Ano: A) considerando os símbolos, B) considerando os HMIS	46
Figura 3.5. EV da AL 2.5 do 11º Ano: A) considerando os símbolos, B) considerando os HMIS	49
Figura 3.6. EV da AL 0.1 do 10º Ano	51
Figura 4.1. EV da AL 0.1 do 10º Ano	59
Figura 4.2 . EV da AL 1.2 do 10º Ano (atividade 1-4)	61
Figura 4.3. EV da AL 1.2 do 10º Ano (atividade 5-8)	62
Figura 4.4. EV da AL 1.3 do 10º Ano	65
Figura 4.5. EV da AL 2.1 do 10º Ano	68
Figura 4.6. Frequência das experiências do 10º Ano em função do IPE	69
Figura 4.7. EV da AL 1.1 do 11º Ano	74
Figura 4.8. EV da AL 1.2 do 11º Ano	76
Figura 4.9. EV da AL 1.3 do 11º Ano	78
Figura 4.10. EV da AL 2.1 do 11º Ano	81
Figura 4.11. EV da AL 2.2 do 11º Ano	84
Figura 4.12. EV da AL 2.3 do 11º Ano	86
Figura 4.13. EV da AL 2.4 do 11º Ano	88
Figura 4.14. EV da AL 2.5 (1ai-1av) do 11º Ano	90
Figura 4.15. EV da AL 2.5 (1avi-2) do 11º Ano	91
Figura 4.16. EV da AL 2.6 do 11º Ano	94
Figura 4.17. Frequência das experiências do 11º Ano em função do IPE	96
Figura 4.18. EV e CV da AL 0.1 do 10º Ano	98
Figura 4.19. EV e CV da AL 1.2 do 10º Ano	99
Figura 4.20. EV e CV da AL 1.3 do 10º Ano	100
Figura 4.21. EV e CV da AL 2.1 do 10º Ano	101
Figura 4.22. EV e CV da AL 1.1 do 11º Ano	101
Figura 4.23. EV e CV da AL 1.2 do 11º Ano	102
Figura 4.24. EV e CV da AL 1.3 do 11º Ano	102
Figura 4.25. EV e CV da AL 2.1 do 11º Ano	103
Figura 4.26. EV e CV da AL 2.2 do 11º Ano	103
Figura 4.27. EV e CV da AL 2.3 do 11º Ano	104
Figura 4.28. EV e CV da AL 2.4 do 11º Ano	104
Figura 4.29 EV e CV da AL 2.5 do 11º Ano	105
Figura 4.30. EV e CV da AL 2.6 do 11º Ano	106
Figura 4.31. Frequência das experiências do 10º e 11º anos em função do IPE	107
Figura 4.32. Distribuição da frequência do conjunto das experiências do 10º e 11º Anos em função do IPE	108
Figura 4.33. Percentagem de experiências (A, B) e de substâncias (C, D) em função dos riscos para a saúde e ambiente e de acidente: (A, C) 10º Ano, (B, D) 11º Ano	108
Figura 4.34. O colapso da síntese no Ensino Secundário: distribuição das	110

reações de síntese por disciplina	
Figura 5.1. Rede Química-Tecnologia-Sociedade-Sustentabilidade para elaboração de critérios usados na avaliação	118
Figura 5.2. Dimensões de análise para a analisar os pontos fortes e fracos	119
Figura 5.3. Dimensões de análise para a analisar as oportunidades e as ameaças	121
Figura 5.4. Pontos fortes e pontos fracos presentes nas experiências dos 10º Ano, 11º Ano e 10º e 11º Anos em conjunto	133
Figura 5.5. Distribuição da frequência do conjunto das experiências dos 10º e 11º Anos em função da % de pontos fortes e fracos.	135
Figura 6.1. Estratégia para a otimização da verduira do ciclo do cobre	149
Figura 6.2. Diagrama para a produção do óxido de cobre	150
Figura 6.3. Diagrama para a recuperação do cobre	151
Figura 6.4. Reação global de formação da dibenzalacetona	159
Figura 6.5. Mecanismo da reação formação da benzalacetona	160
Figura 6.6. Estratégia para a reação de síntese da dibenzalacetona	161
Figura 6.7. EV do protocolo C	165
Figura 6.8. Diagrama para a síntese da dibenzalacetona	166
Figura 6.9. Variação do rendimento com a escala	169
Figura 6.10. Variação das métricas em função do rendimento	170
Figura 6.11. Variação do Fator E e MI (água e etanol incluídos) em função do rendimento	171
Figura 6.12. Representação gráfica de $MI=7660/\eta$ (A - água e etanol incluídos), $MI=7053/\eta$ (B - água incluída e etanol não incluído) e $MI=204,1/\eta$ (C - água e etanol não incluídos) e dos valores experimentais.	172
Figura 6.13. Variação das métricas em função do rendimento	173
Figura 6.14. Energia consumida em função da escala	174
Figura 6.15. Tempo de filtração para cada processo usado	175
Figura 6.16. Energia consumida em função do tempo de filtração	175

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Preâmbulo

Este estudo resultou da ideia de que é necessário introduzir a Química Verde (QV) nos programas do Ensino Secundário, uma vez que permite formar cidadãos conscientes dos problemas ambientais e capazes de criar soluções para os mesmos, bem como arranjar alternativas não prejudiciais, humana e ecologicamente. Assim, procurou-se ao longo deste capítulo introduzir a QV, enquadrando-a no Ensino, bem como apresentar sucintamente os objetivos e as finalidades do estudo realizado nesta tese. A introdução encontra-se organizada em cinco secções.

Na primeira secção efetua-se uma introdução à QV, referindo em linhas gerais a origem e evolução da QV, assim como os objetivos e a respetiva definição. É também salientado o contributo que a QV pode trazer ao Desenvolvimento Sustentável.

Tendo este trabalho de investigação uma finalidade educacional, procura-se na segunda secção apresentar as linhas gerais do ensino da QV na atualidade. Esta secção foi dividida em quatro subsecções. Na primeira, são discutidos os benefícios de introduzir a QV no Ensino, abordada a ausência dos conceitos de QV nos atuais programas de Química do Ensino Secundário e apresentadas as dificuldades que se colocam aos docentes nesta abordagem da Química. Atendendo a que a introdução da QV no Ensino passa pela realização de atividades laboratoriais e pela avaliação da respetiva verdura, nas duas subsecções seguintes, foca-se, breve e respetivamente, a importância e o modo como se pode avaliar a verdura das atividades e as vantagens destas serem realizadas à microescala. Na última subsecção discute-se a importância do desenvolvimento de materiais didáticos e da sua divulgação.

Na terceira secção apresenta-se as finalidades gerais do trabalho desenvolvido e na quarta secção o seu objetivo geral e objetivos concretos. Na última secção descreve-se brevemente a estrutura do trabalho.

1.1. Introdução à Química Verde

Cerca dos anos noventa do século XX, reconheceu-se que a produção de produtos químicos a grande escala pela Indústria Química, e a sua utilização alargada pela restante indústria e pela sociedade em globo, estavam a provocar uma dispersão intensa de poluentes e a produção de grandes quantidades de resíduos, que exerciam efeitos deletérios variados no ambiente e na saúde humana e ecológica; e que, sendo aquela indústria uma atividade indispensável para a civilização industrial, a prática industrial da Química tinha de ser mudada para que a Indústria Química atenuasse fortemente os efeitos nocivos que produzia e pudesse suportar proactivamente o Desenvolvimento Sustentável. Foi neste contexto e com este objetivo global que, no início da última década do século passado, surgiu a QV [1,2].

Embora, em face da complexidade da Química, seja difícil apresentar uma definição completa e precisa de QV, a seguinte possibilita uma ideia breve do que a QV pretende atingir: a promoção de processos e produtos químicos limpos e sustentáveis, sem perigos para os humanos, a biosfera e o ambiente, com benefícios económicos para a Indústria Química e a sociedade em globo.

Os objetivos básicos (programáticos e operacionais) da QV foram definidos nos Doze Princípios da QV, de natureza qualitativa, formulados por Anastas & Warner [1], dirigidos aos químicos académicos de laboratório. Estes princípios têm sido utilizados na implementação da QV, ou seja servem para estruturar uma nova postura para tornar a Química um atividade com menor impacto ambiental e humano, com maior eficiência do uso de recursos materiais e energéticos, sem comprometer o respetivo progresso e os benefícios que proporciona à sociedade. Sendo a Química uma atividade muito complexa (desde logo porque a Química é o único ramo da ciência que tem uma indústria específica associado a ele, a Indústria Química), a variedade de situações a requerer modificações para melhorar a sua benignidade não pode ser “governada” apenas por aqueles princípios. Em particular, os referidos princípios não contemplam em profundidade, e não permitem aferir, a prática industrial da Química que desde sempre, por razões de segurança, procurou processos o mais benignos possível (Nobel foi talvez o primeiro químico verde! [3]); nomeadamente, o desenvolvimento dos processos químicos exige um conjunto de ferramentas variadas que permitam avaliações comparativas de alternativas de reações de síntese e operações auxiliares, por métodos quantitativos (ou semiquantitativos) diversos (“métricas de verdura”), referentes às diversas características com relevância ambiental das substâncias e reações químicas [4].

Esta situação induziu, por exemplo, a formulação dos Segundos Doze Princípios da QV [5] e dos Doze Princípios da Engenharia QV [6]. Os Segundos Doze Princípios da QV

foram formulados em 2001 por Winterton e são direcionadas aos químicos académicos que desenvolvem novos processos de síntese de moléculas. Estes princípios apelam a estes químicos que privilegiem: (i) o estudo da Química Básica necessária para obter vias de síntese mais verdes; e (ii) a recolha de dados adicionais que permitam avaliar comparativamente as características de verdures das novas vias de síntese investigadas, utilizando o cálculo das métricas de massa e ambientais [7]. Os Doze Princípios da Engenharia QV surgem para induzir a aplicação da QV no contexto industrial e procuram essencialmente métodos para estimar a natureza perigosa dos produtos químicos, estratégias de prevenção da poluição, e abordagens levando à eficiência energética e de materiais [8].

Em face desta complexidade, embora seja fácil apresentar uma definição genérica de QV, a sua implementação é frequentemente problemática, sendo difícil definir um plano global para a concretizar – as linhas de força propostas em planos variam com o alcance considerado (por exemplo, comparar as refs. [9,10]).

Independentemente, destes problemas, que decorrem da própria natureza da Química, a ideia básica da QV é tão apelativa do ponto de vista do Desenvolvimento Sustentável, que “foi agarrada” com vigor pela comunidade química académica: o adjetivo “green” começou a aparecer nos títulos e discussão de artigos científicos de Química e foi criada uma revista dedicada especificamente ao tema (*Green Chemistry*, Royal Society of Chemistry, 1999); nos EUA e no Reino Unido, foram criados programas de financiamento de investigação específica no campo; passaram a realizar-se congressos, encontros, etc., sobre QV (mais recentemente designada por Química Sustentável e outras designações análogas [11]). Também, nos EUA, a prática da QV foi incentivada pela criação dos prémios atribuídos anualmente por iniciativa presidencial, *The Presidential Green Chemistry Challenge* [12].

Na investigação em QV, quando realizada por químicos académicos, mentalizados apenas pelos Doze (Primeiros) Princípios, com visão reducionista, não é infrequente a “reivindicação de verdures” ser ilegítima: frequentemente, os químicos melhoram a verdures da reação numa área, mas esquecem as outras, piorando a verdures global (a ref. [13] apresenta um exemplo que elucida esta afirmação). Em suma, embora a QV seja já um campo estabelecido da Química, a sua prática exige uma mudança de atitude por parte dos químicos – com inclusão de um paradigma de pensamento holístico, que considere como unidade básica de raciocínio o ciclo de vida do composto e do processo usado para o seu fabrico, considerando o seu alcance global, mesmo quando se investiga apenas um detalhe do ciclo.

Por outro lado, a aceitação crescente da QV induziu inevitavelmente que se tivesse começado a abordar o seu ensino, principalmente a nível superior (mas não só), como se discutirá na secção seguinte. Também a maioria deste esforço, nomeadamente quanto a

experiências laboratoriais, tem sido realizada estritamente com base na mentalidade qualitativa dos Doze (Primeiros) Princípios, sem fazer sentir aos estudantes a necessidade de aferir os ganhos (ou perdas) de verdura global quando se adotam novas propostas de reações de síntese, operações de purificação complementares, etc. Em face da já referida complexidade da Química, sente-se que há lugar para a procura de novos métodos de ensino da QV que contemplem conjuntamente a implementação de novos procedimentos laboratoriais verdes e a avaliação dos seus ganhos de verdura por cálculo de métricas holísticas, estequiométricas (para aferição da produtividade do uso dos átomos) e ambientais.

Em suma, como presentemente o ensino da Química tem de incluir o embutimento ativo na mente dos estudantes de modos de pensar e agir compatíveis com a Sustentabilidade, tem de passar a incluir a QV – como um novo e incontornável paradigma da Química que exige uma transformação da mentalidade dos químicos e das suas práticas laboratoriais. Na situação atual de desenvolvimento da QV, o seu ensino passa não só pela instilação nas matérias ensinadas, a todos os níveis, dos seus princípios, possibilidades e vantagens da sua aplicação, mas também pela apresentação de ferramentas para a avaliação dos ganhos de verdura, usando para ambos os fins exemplos de implementação adequados. Por outro lado, para se conseguir o embutimento profundo na mente das pessoas dos conceitos ligados à verdura da Química, o ensino da QV deve ser entrosado nos programas de Química do Ensino Secundário tão cedo quanto possível.

1.2. Ensino da Química Verde

1.2.1. Objetivos, benefícios e dificuldades

A Química, dada a sua importância industrial e societal e as suas características, revela-se uma ciência que pode e deve contribuir, de um modo particularmente ativo e indispensável, para o fomento da Sustentabilidade.

Uma análise global da literatura sobre a pedagogia da QV [15] mostra que o principal objetivo do ensino da Química segundo este paradigma é preparar os alunos, futuros cidadãos, para compreender, exigir e contribuir para o Desenvolvimento Sustentável, o que exige que tenham uma visão integrada da Química com o meio ambiente e a economia – e que a QV é um veículo privilegiado para aquisição desta visão [16,17].

Os benefícios resultantes da incorporação de conceitos de QV no Ensino são significativos e recolhidos a todos os níveis, pois podem fornecer ligações entre muitos dos conceitos ensinados nas aulas de Química e o dia-a-dia dos alunos, muito mais do que a mera

descrição dos problemas ambientais – os diversos tipos de poluição, destruição da camada do ozono, aquecimento global, etc. Por exemplo, Braun *et al* [18] referem que, com a inclusão da QV desde o Ensino Básico, os alunos de todas as áreas, não apenas das ciências, terão oportunidade para relacionar os conceitos químicos com o mundo real. Para além disso, mesmo que muitos destes estudantes não venham a ser químicos, uma grande parte deles virão a ser profissionais que podem utilizar a QV ou outras práticas sustentáveis a nível científico, ético, político, ou mesmo ao nível de decisões económicas, profissionais ou como simples cidadãos [19]. Por outro lado, os profissionais das novas gerações da área de Química que virão a ser os futuros químicos e engenheiros químicos, devem estar equipados com as ferramentas necessárias para suportar e promover a Sustentabilidade - ou, mais pragmaticamente, devem estar preparados para suprir as dificuldades que as indústrias enfrentam/enfrentarão para se adaptarem aos novos tipos de mercados criados pelo Desenvolvimento Sustentável.

A inclusão da QV no processo de ensino-aprendizagem implica desafios para os professores de todos os níveis de ensino e de todas as áreas do sistema educacional: os professores têm de adquirir novos conceitos/manter-se atualizados e incorporar no seu ensino objetivos verdes, de forma a desenvolverem nos seus alunos um novo olhar mais otimista sobre a Química do que o que tem a sociedade atual, sem comprometer a integridade do conhecimento químico [20].

As numerosas propostas que têm vindo a ser apresentadas na literatura sobre a introdução da QV nos currículos escolares dependem bastante da definição de QV que se adota – que afeta também a intenção com que esse ensino é sugerido.

A definição mais ampla seria a baseada nos Doze Princípios, mas dado o largo alcance destes, que decorre da própria natureza complexa e variada da Química, na prática adotam-se definições mais restritas (embora tenha sido vincado que a incorporação dos Doze Princípios da QV no ensino da Química é essencial para fornecer uma base sólida para abordagens verdes [18]). Por exemplo, Kirchhoff [21] considera a QV como uma vertente da Química onde se toma em consideração o desenho de produtos e processos químicos que reduzam ou diminuam o uso e produção de substâncias nocivas e perigosas; a autora refere ainda que a QV é uma abordagem à prática da Química que assume uma responsabilização do ponto de vista ambiental, e relaciona a Química com a economia e com benefícios ambientais, oferecendo assim uma abordagem científica para resolver alguns dos problemas ambientais mais significativos. Szafran *et al* [22] definem a QV como a utilização de técnicas e metodologias químicas que reduzam ou eliminem o uso e a produção de produtos, subprodutos, solventes, reagentes, etc, que sejam tóxicos para o homem e para o ambiente.

Hjeresen [23] refere a importância de usar a QV para envolver os jovens na preservação de um planeta saudável para as gerações futuras – ligando explicitamente o ensino da QV à promoção do Desenvolvimento Sustentável.

No entanto, a maioria dos autores concentram a sua atenção na Química Básica ou de laboratório, esquecendo de certo modo que os efeitos nocivos da Química resultam fundamentalmente da sua prática à escala industrial. Uma visão da QV focada na Química Industrial permite explicitar mais ampla e incisivamente os seus objetivos concretos em termos do Desenvolvimento Sustentável, por exemplo [11]: fabricar e lançar no mercado apenas substâncias que não sejam nocivas para a saúde humana e dos restantes seres vivos e que não deteriore o ambiente; usar processos de fabrico de substâncias que não dispersem poluentes nem produzam resíduos tóxicos que acabam, quase sempre, por ter de ser depositos no ambiente; usar preferencialmente como matérias-primas substâncias provenientes de recursos naturais renováveis, de modo a poupar os recursos não renováveis; usar preferivelmente energias renováveis, etc. O ensino da QV, deve exigir uma visão ampla e holística da Química, de natureza sistémica, que possibilite a sua plena incorporação nos contextos ambiental, humano e societário em que a Química sempre se desenvolveu e que são atualmente cada vez mais condicionantes da sua prática [24]. Essa visão pode ser mais facilmente conseguida numa postura Ciência-Tecnologia-Sociedade-Sustentabilidade (CTSS ou, em linguagem mais química, CTS₂) [24].

Em Portugal, os programas de Química do Ensino Secundário, não fazem qualquer referência à QV, nem foram desenvolvidos tendo em consideração a QV [16, 17], pelo que é muito importante que se inclua nestes programas, conteúdos relacionados com a QV, tais como os Princípios da QV, métricas de avaliação de verdura – métricas de massa, ambientais, energéticas e Estrela Verde. É de salientar ainda o facto dos programas atuais do 10º e 11º anos incluírem apenas uma reação de síntese [16,17] o que é de lamentar já que estas reações são a base da Química do quotidiano. No Ensino Superior, atendendo a que as disciplinas propostas são normalmente de opção, e muitas vezes não disponíveis para os cursos de formação de professores, é imprescindível que se inclua na formação inicial de professores, disciplinas obrigatórias que incluam estes conceitos da QV. Por outro lado, é também importante que se alterem programas das disciplinas de formação de base dos diversos cursos superiores, de forma a integrarem conteúdos relacionados com a QV [8].

1.2.2. Avaliação da verdura

Um dos modos de integrar os princípios de QV no ensino da Química é através de atividades experimentais pois, desta forma, os alunos tomam contacto direto com a importância de reduzirem ou eliminarem o uso e produção de substâncias perigosas à saúde e ao ambiente – e aplicam desde logo os conceitos da prevenção e a economia atômica, que surgem nos dois primeiros Doze Princípios da QV, [21] que são princípios programáticos.

Este modo tem sido implementado em propostas de experiências de sínteses verdes laboratoriais, frequentemente apresentadas como alternativas a sínteses clássicas, que têm surgido na literatura em número crescente nos últimos anos, por exemplo [25, 26, 27]. Estas experiências visam ilustrar os referidos primeiros dois princípios, bem como, eventualmente, alguns dos outros – e usam o seu cumprimento como prova de características verdes das novas sínteses (“verdura”).

Na sua grande maioria, com raras exceções [28], estas propostas de experiências de química laboratorial omitem qualquer tentativa de avaliar os ganhos de verdura que são conseguidos. Esta situação contrasta com a vigente no mundo da Química Industrial, em que se escrutinam comparativamente produtos, vias de síntese e processos em desenvolvimento para aferir quantitativamente os ganhos de verdura. Sendo a Química Industrial muito complexa, o verdadeiro desafio da QV é obter ganhos de verdura sistémicos, progressivos e comprovados nos ciclos-de-vida de produtos e processos de fabrico.

Para a quantificação dos ganhos de verdura, do ponto de vista global da Sustentabilidade, são utilizadas métricas de massa e métricas ambientais [29, 30, 31]. As métricas de massa têm como objetivo aferir a utilização eficaz dos átomos dos reagentes – por introdução destes no produto desejado preferencialmente a serem desperdiçados em resíduos produzidos. As métricas ambientais pretendem avaliar diversos aspetos da ausência de nocividade (“verdura”) da prática da Química, por exemplo: a eficiência energética, a utilização minimizada de solventes, a segurança dos processos, a anulação de efeitos tóxicos e nocivos na ambiente e na saúde humana, etc. Como os parâmetros suscetíveis de avaliação são numerosos, o número de métricas propostas de ambos os tipos é elevado; e, para alguns dos parâmetros, são usadas várias métricas, não sendo transparente a escolha das mais adequadas – e, por isso, suscetível de contestação [32]. Estas métricas são reducionistas pois cada uma é dirigida a um componente particular o que não é adequado para avaliar a verdura como um todo, tem arrastado como consequência que tenham sido adjetivadas como verdes processos, reações, compostos, etc., que afinal, não o são (casos de “falsa QV”) [7].

Quando se aplicaram as métricas disponíveis na literatura no contexto educacional acima referido, sentiu-se a falta de métricas sistémicas de verdures das reações químicas, de alcance alargado, tendo emergido a motivação para as construir. Os Doze Princípios da QV, [1] muito utilizados para incentivar o ensino desta, são prescrições de natureza qualitativa que devem ser aplicados sistemicamente, em conjunto, na perseguição da verdures, porque mudanças nas condições de realização das reações químicas podem implicar alterações de grau díspar em termos dos diversos princípios, melhorando a verdures no que se refere a alguns deles, mas piorando-a no que se refere a outros. Assim, surgiu a ideia de construir métricas holísticas que cobrissem todos os princípios aplicáveis em cada situação sob estudo [32, 33].

Nesta tese descreve-se a conceção de uma métrica deste tipo, de natureza gráfica, que permite comparações visuais fáceis. A métrica é constituída por uma estrela de tantas pontas quantos os Princípios da QV em jogo no problema em análise, e em que o comprimento de cada ponta é tanto maior quanto melhor for o cumprimento do respetivo princípio, de modo que a área da estrela é tanto maior quanto maior for a verdures global do processo químico em estudo [32, 33]. Em face da sua forma, a métrica foi designada pelo nome de “Estrela Verde (EV)” (*Green Star*, GS). A Estrela Verde é uma métrica holística, pois pretende avaliar as atividades experimentais de uma forma global e sistemática, atendendo aos Doze Princípios da QV.

O conhecimento e uso destas métricas é fulcral na aprendizagem da QV e embora o campo das métricas seja complexo, métricas há de compreensão suficientemente simples para poderem ser utilizadas no ensino da QV a nível introdutório ou intermédio.

1.2.3. Química Verde e microescala

Para a integração da QV no Ensino Secundário parece natural recorrer a experiências à microescala, pois a microescala significa menores custos experimentais, redução do tempo de exposição aos materiais potencialmente tóxicos, menores tempos de reação e menores quantidades de reagentes, produtos e resíduos [22]. Esta escala experimental foi introduzida nos laboratórios escolares na década de oitenta, ainda antes da emersão da QV, com o objetivo de diminuir as quantidades de reagentes e resíduos das experiências nos laboratórios – afinal, uma medida precoce de QV: a Química em microescala é uma prática de laboratório “amiga do ambiente” que tem como base uma perspetiva de prevenção da poluição, uma vez que reduz significativamente a quantidade de produtos químicos [34]. Esta escala utiliza material em miniatura e as suas vantagens são conhecidas e o seu valor reconhecido [35, 36,

37]. As atividades experimentais a microescala permitem a utilização de uma maior variedade de substâncias químicas já que, sendo a escala diminuída, podem usar-se materiais dispendiosos ou reagentes/produtos mais problemáticos quanto a efeitos nocivos, que não poderiam ser utilizados, de um modo seguro, em macroescala. Em suma, pela própria natureza da sua escala, a Química em microescala cumpre e/ou suporta alguns dos Doze Princípios da QV – pelo que é natural a sua escolha para o ensino da QV.

Em suma, a ligação Química em microescala à QV, utilizando métricas de massa e, na medida do possível, métricas ambientais, é uma proposta inovadora e de grande utilidade no desenho de atividades experimentais para o ensino da QV.

1.2.4. A importância do desenvolvimento de materiais didáticos e da sua divulgação

Para facilitar a introdução da QV nos Programas Nacionais do Ensino Secundário e Superior, torna-se necessário o desenvolvimento de propostas bem definidas que propiciem aos professores e aos alunos a perceção da necessidade da mudança de paradigma no ensino da Química, de forma a contribuir para um Desenvolvimento Sustentável. Facilmente é constatada a necessidade do desenvolvimento de atividades laboratoriais que permitam o contacto direto com a QV, de modo a induzi-la mais amplamente na mente dos jovens estudantes [38].

Por outro lado, a avaliação dos materiais educacionais existentes, nomeadamente, os propostos nos programas curriculares atuais, revela-se importante e potencialmente eficaz. Uma primeira avaliação da vertente química das atividades laboratoriais propostas no Programa Nacional de Química A do 10º e 11º anos do Ensino Secundário relativo ao Curso Científico – Humanístico de Ciências e Tecnologias foi efetuada nesta tese [16, 17].

Dada a escassez de materiais educacionais de QV e de modelos para a sua introdução na sala de aula e no laboratório de ensino [9], considerou-se que a produção de diversos recursos didáticos que contemplem a prática da QV e sua divulgação são extremamente importantes, dado que permitirão motivar e auxiliar os professores para realização de atividades laboratoriais “verdes”, coadjuvando a sua introdução no Ensino e permitindo aos alunos compreender o papel fundamental que a QV tem para a Sustentabilidade através de desafios no contexto do trabalho laboratorial. Neste sentido foram divulgados na página de internet *Pedagogia da Química Verde – Educação para a Sustentabilidade* (<http://educa.fc.up.pt/pedagogiadaquimicaverde/>) os documentos referentes ao trabalho desenvolvido neste doutoramento.

1.3. Finalidades da tese

As considerações anteriores mostram que o ensino da Química, para ser dirigido ao Desenvolvimento Sustentável, exige um novo enfoque, com mudança de paradigmas e de mentalidades, e, por isso, deve começar cedo na vida escolar dos estudantes, logo quando estes têm pela primeira vez contacto com o ensino formal da Química.

Há variados aspetos a considerar no ensino da Química que podem contribuir para estas mudanças e cuja implementação realística requer trabalho de investigação científico-pedagógica, por exemplo:

(1) Alterações da perspetiva cultural do ensino da Química e seu enquadramento curricular

Em tempo de reforma curricular, a Química deverá ter uma abordagem verde de raiz. Essa abordagem deverá dar relevância aos seguintes aspetos:

- (i) princípios da QV – não aparecem enunciados em nenhum dos novos programas;
- (ii) Química realmente praticada na Indústria Química, já que o impacto fundamental da Química no ambiente tem como origem a sua indústria e as substâncias por ela fabricadas – presentemente, as referências à Indústria Química não são consistentes, nem envolvem a perspetiva da Sustentabilidade.
- (iii) papel fulcral dos químicos na solução de muitos problemas da degradação do ambiente – uma forma de motivar, eventualmente, os alunos para a escolha da Química como área para prosseguimento de estudos;
- (iv) identificação da verdura, em sentido amplo, das atividades experimentais propostas – os programas limitam-se a referir o manuseamento seguro dos reagentes e, nalguns casos, o que fazer com os resíduos produzidos;
- (v) cálculo de métricas holísticas, de massa e ambientais, que permitem avaliar a “verdura” dos produtos químicos e das reações químicas de síntese, bem como dos processos usados no seu fabrico – já que no Ensino Secundário só se utiliza a métrica clássica de cálculo do rendimento;
- (vi) planeamento e realização do trabalho experimental que deve, globalmente, ser dirigido para a QV – esta é completamente excluída dos programas atuais; e
- (vii) realização de trabalho experimental à microescala, já que as condições de processamento nesta escala podem ser mais suaves e ela minimiza a quantidade de reagentes gastos, os tempos para a execução das atividades, a produção de resíduos e a energia envolvida – a maioria destes aspetos são praticamente ignorados nos programas atuais.

Uma abordagem deste tipo no Ensino Secundário formará, certamente, cidadãos mais conscientes da necessidade de mudanças tecnológicas e societárias para dirigir a civilização industrial para o Desenvolvimento Sustentável; e, trará para o Ensino Superior alunos sensibilizados para as questões da QV e da Sustentabilidade.

Lateralmente, pode referir-se que este modelo implicará também uma maior preocupação com estes aspetos no Ensino Superior, nomeadamente a criação de disciplinas introdutória à QV, quando possível, e a introdução nas restantes disciplinas de aspetos relevantes, ligados à Química Industrial e à Sustentabilidade. Os seguintes temas exemplificam matérias que será importante introduzir nos cursos tradicionais: Sustentabilidade, monitorização e deteção ambiental, transporte e destino ambiental dos compostos químicos, toxicologia e política e legislação ambiental.

(2) Formação dos professores

A formação dos professores, quer a nível da formação inicial, quer a nível da formação contínua, deverá incorporar os aspetos apresentados acima, já que os professores são os responsáveis pelo ensino formal da Química e os professores de cada geração vão ser responsáveis pela formação de várias gerações de jovens.

(3) Divulgação científica para o desenvolvimento da literacia científica dos cidadãos

É importante promover a divulgação da nova postura da QV, relevando a sua importância societária, como forma de contribuir para uma cultura dirigida à Sustentabilidade, para o que se deverá alterar o atual modelo de “Educação Ambiental” ou “Educação para o Ambiente” para um novo modelo de “Educação para a Sustentabilidade” – substituindo o modelo “Ciência, Tecnologia e Sociedade” (CTS), ou “Ciência, Tecnologia e Sociedade, e Ambiente” (CTSA), por um modelo de alcance mais lato e que vise explicitamente a Sustentabilidade, a “Ciência, Tecnologia, Sociedade e Sustentabilidade” (CTSS).

As considerações anteriores encaminham para a importância do desenvolvimento de propostas concretas de trabalho que facilitem a introdução da QV e da Química a microescala nos currículos escolares do Ensino Secundário, com vista à consciencialização de alunos e professores da importância de uma mudança de paradigmas do ensino da Química que suporte proactivamente a Sustentabilidade.

1.4. Objetivos da tese

Da discussão anterior decorre naturalmente o *objetivo global*: avaliar do ponto de vista da QV os atuais programas do Ensino Secundário.

Os objetivos concretos do trabalho que se pretendeu cumprir neste doutoramento foram os seguintes:

- (i) desenvolvimento de um métrica de holística de QV para avaliar a verduras das atividades laboratoriais;
- (ii) avaliação da verdura das atividades laboratoriais dos atuais programas de Química do 10º e 11º ano aplicando a métrica holística anteriormente montada;
- (iii) desenvolvimento de um instrumento de análise do cumprimento da postura CTSS das atividades laboratoriais e sua aplicação às atividades propostas nos atuais programas,
- (iv) a realização de reações de síntese, adequadas ao ensino da Química no Ensino Secundário, a várias escalas, suscetíveis de avaliação de verdura por uso de métricas, que permitam introduzir neste ensino a QV, evidenciando os seus princípios, a prática da Química nesta nova postura e a sua aferição com respeito à sua compatibilidade com o Desenvolvimento Sustentável.

1.5. Estrutura da tese

A presente tese está organizada em sete capítulos, incluindo a presente introdução.

No capítulo 2 apresenta-se uma breve revisão bibliográfica sobre o ensino da QV. Esta revisão surgiu da necessidade de, antes de se começar a desenvolver o trabalho, se procurar conhecer a extensão da penetração da QV no Ensino.

No capítulo 3 efetua-se a apresentação da métrica holística da QV desenvolvida – a Estrela Verde (EV). Esta métrica foi concebida para responder à necessidade avaliar a Química usando globalmente os Doze Princípios da QV, por um processo que fosse simultaneamente de fácil aplicação para os alunos do Ensino Secundário e dos primeiros anos do Ensino Superior.

No capítulo 4 apresenta-se um estudo de avaliação do grau de verdura das atividades laboratoriais do 10º e 11º anos dos atuais programas de Química do Ensino Secundário, utilizando a métrica apresentada no capítulo 3 para analisar a verdura das atividades propostas.

No capítulo 5 avalia-se as atividades laboratoriais do 10º e 11º anos dos atuais programas de Química do Ensino Secundário do ponto de vista da sua integração na postura CTSS. Nesta avaliação utilizou-se uma matriz SWOT que foi desenvolvida para o efeito.

No capítulo 6 apresentam-se os resultados experimentais de estudos de otimização de reações de síntese realizados neste trabalho, cujo grau de verdura foi avaliado e melhorado utilizando métricas de massa da QV e a métrica holística desenvolvida a EV.

No capítulo 7 apresenta-se as conclusões gerais do trabalho desenvolvido.

1.6. Bibliografia

1. P.T. Anastas e J. C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, London (1998).
2. M. Lancaster, *Green Chemistry – An Introductory Text*, The Royal Society of Chemistry (2002).
3. A. Machado, Alfred Nobel – O “primeiro químico verde”?, *Boletim SPQ* **103** (2006) 45-55.
4. D. T. Allen e D. R. Shonnard, *Green Engineering – Environmentally Conscious Design of Chemical Processes*, Prentice-Hall (2002).
5. N. Winterton, Twelve more green chemistry principles, *Green Chemistry* **3** (2001) G73- G75.
6. P. Anastas e J. B. Zimmerman, Design through the 12 principles of Green Engineering, *Env. Sci. Tech.* **37** (5) (2003), 94A-101A.
7. A. Machado, Das dificuldades da Química Verde aos segundos doze princípios, *Boletim SPQ*, **110** (2008) 33-40.
8. Borges Maria José; *Optimização da Verdura da Síntese do Acetato de n-Butilo*; Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, (2010)
9. R. Mestres, A brief structured view of green chemistry issues, *Green Chemistry* **6** (1) (2004) G 10-G12.
10. D. J. C. Constable et al, Key green chemistry research areas—a perspective from pharmaceutical manufacturers, *Green Chemistry* **9** (5) (2007) 411-420.
11. A. Machado, Química e Desenvolvimento Sustentável, *Boletim SPQ* **95** (2004) 59-67.
12. Presidential Green Chemistry Challenge. Disponível em: <http://www.epa.gov/greenchemistry/pubs/pgcc/presgcc.html>, (acedido em Junho de 2011).
13. D. G. Blackmond et al, Water in Organocatalytic Processes: Debunking the Myths, *Angew.Chem.Int. Ed.* **46** (2007) 3798-3800.
14. A. Machado, Da pobreza química à sustentabilidade e Química Verde, *Boletim SPQ* **114** (2009) 27-33.
15. P. Anastas et al, *Exploring Opportunities in Green Chemistry and Engineering Education – A Workshop to the Chemical Sciences Roundtable*, The National Academy Press, Washington (2007).

16. D. A. Costa, M. G. T. C. Ribeiro, A. A. S. C. Machado, Análise da Verdura das Actividades Laboratoriais do 10º Ano do Ensino Secundário, Bol. S.P.Q. **115** (2009) 41-49.
17. D. A. Costa, M. G. T. C. Ribeiro, A. A. S. C. Machado, “Análise da Verdura das Actividades Laboratoriais do 11º Ano do Ensino Secundário”, aceite
18. B. Braun et al, Green Chemistry in the Curriculum, J. Chem. Ed., **83** (2006) 1126-1129.
19. M. C. Cann e T. A. Dickneider, Infusing the Chemistry Curriculum with Green Chemistry Using Real-World Examples, Web Modules, and Atom Economy in Organic Chemistry Courses, J. Chem. Educ. **81** (2004) 977-980.
20. T. J. Collins, Introducing Green Chemistry in Teaching and Research, J. Chem. Ed. **72** (1995) 965-966.
21. M. M. Kirchhoff, Topics in Green Chemistry, J. Chem. Ed. **78** (2001) 1577.
22. Z. Szafran; M. M. Singh; R. M. Pike, The Philosophy of Green Chemistry as Applied to the Microscale Inorganic Chemistry Laboratory, Educación Química (2000) 172-173.
23. D. L. Hjeresen, D. L. Schutt e J. M. Boese, Green Chemistry and Education, J. Chem. Ed. **82** (2005) 1543.
24. A. A. S. C. Machado, Da génese ao ensino da Química Verde, Química Nova **34** (2011) 535-543.
25. S. D. Van Arnum, An Approach Towards teaching Green Chemistry Fundamentals, J. Chem. Educ. **82** (2005) 1889-1692.
26. I. Montes, D. Sanabria, M. Garcia, J. Castro e J. Fajardo, A Greener Approach to Aspirin Synthesis using Microwave Irradiation, J. Chem. Ed. **83** (2006) 628 – 631.
27. L. C. McKenzie, L. M. Huffman e J. E. Hutchison, The Evolution of a green Chemistry Laboratory Experiment: Greener Brominations of Stilbene, J. Chem. Ed. **82** (2005) 306-310.
28. L. M. Merat e R. Gil, Inserção do Conceito de Economia Atómica no programa de uma disciplina de Química Orgânica Experimental, Química Nova **26** (2003) 779-781.
29. D. J. C. Constable, A. D. Curzons e V. L. Cunningham, Metrics to ‘green’ chemistry – which are the best?, Green Chemistry **4** (2002) 521-527.
30. M. Eissen e J. O. Metzger, Environmental Performance Metrics for Daily Use in Synthetic Chemistry, Chem. Eur. J. **8** (2002) 3581-3585.

31. A. D. Curzons et al, So you think your process is green, how do you know? – Using principles of sustainability to determine what is green- a corporate perspective, *Green Chemistry* **3** (2001) 1-6.
32. M. G. T. C. Ribeiro, D. A. Costa, A. A. S. C. Machado, Uma Métrica Gráfica para Avaliação Holística da Verdura de Reações Laboratoriais – Estrela Verde, *Quím. Nova* **33** (2010) 759-764.
33. M. G. T. C. Ribeiro, D. A. Costa, A. A. S. C. Machado, “Green Star”: a holistic Green Chemistry metric for evaluation of teaching laboratory experiments., *Green Chem. Lett. Ver.* **3** (2010) 149-159.
34. M. M Singh, Z Szafran e R. M. Pike, *Microscale Chemistry and Green Chemistry: Complementary Pedagogies*, *J. Chem. Ed.* **76** (1999) 1684-1686.
35. Z. Szafran, R. M. Pike e J. C. Foster, *Microscale general chemistry laboratory*, John Wiley & Sons, Inc. (2003).
36. J. W. Lehman, *Microscale operational organic chemistry – a problem solving approach to the laboratory course*, Pearson Education, Inc., Prentice Hall (2004).
37. K. L. Williamson, R. D. Minard e K. M. Masters, *Macroscale and microscale organic experiments*, Houghton Mifflin Company, Boston (2007).
38. Costa, D. A.; Ribeiro, M. G. T. C.; Machado A. A. S. C., Uma Revisão da Bibliografia sobre o Ensino da Química Verde, *Boletim. S.P.Q* **109** (2008) 47-51.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SOBRE O ENSINO DA QUÍMICA VERDE

2.1. Objetivo

Inicialmente, no âmbito da formulação do plano de doutoramento, realizou-se uma análise sistemática da bibliografia para aferir a extensão atual da penetração da Química Verde (QV) no Ensino [1]. Neste capítulo apresentam-se os resultados dessa análise. O material coligido em [1], dizia respeito até 2007 e foi agora acrescentado com uma revisão bibliográfica até junho de 2011.

2.2. Revisão Bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi realizada no índice do *Journal of Chemical Education* (JCEd) [2], feita a partir do termo “green chemistry”, sucessivamente nos títulos dos artigos e nas palavras-chave. Os artigos foram sujeitos a uma análise prévia, verificando-se que alguns não envolvem explicitamente a QV (a maioria destes dizem respeito a Química Ambiental). Dos artigos encontrados 101 [3-103] foram classificados em nove tipos, traduzidos pelas seguintes siglas:

- D, Divulgação da QV (apresentam a QV, assim como a sua evolução);
- E, Ensino (relativos a propostas de ensino, cursos, atividades, etc., sem abordar detalhadamente experiências laboratoriais);
- ED, Experiência de demonstração (descrevem experiências que podem ser realizadas a título demonstrativo);
- LA, Experiência de laboratório em Química Analítica;
- LG, *Idem* em Química Geral;
- LI, *Idem* em Química Inorgânica;
- LO, *Idem* em Química Orgânica;
- M, Métricas (cálculo de métricas da QV);
- R, Recensão crítica de livro (realização de trabalhos de síntese de um determinado livro).

Esta tarefa conduziu a mais alguns artigos sobre o ensino da QV, na referida revista e noutras [104-111], que foram englobados na análise. Por fim, completou-se a pesquisa bibliográfica com a identificação dos artigos de índole pedagógica, publicados na revista *Green Chemistry* da Royal Chemical Society (Londres) [112-119]. Estes dois grupos de artigos foram classificados como os anteriores. Nesta revisão bibliográfica não foram incluídos os artigos publicados pelo Departamento de Química da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, por o presente trabalho descrever parte deles e estar muito próximo dos restantes.

Na Tabela 2.1 e Figura 2.1 apresentam-se, respetivamente, os resultados da classificação (número total de artigos em cada uma das nove classes) e o número total de artigos publicados em cada ano.

Tabela 2.1. Distribuição dos artigos* por classes e anos**

Ano	D Divulgação da QV	E Ensino Da QV	ED Exp. de demonstração	LA Exp. Lab Q. Anal.	LG Exp. Lab. Q. Geral	LI Exp. Lab Q. Inorg	LO Exp. Lab. Q.Org	M Métricas	R Recensão de livro
1995	3								
1999	4					5	5		
2000	6					104	7		
2001	8						105, 112		
2002							9, 10		
2003		113	13	11	114		106 , 107, 108, 113	106	12, 14
2004	15, 115	19, 21, 22, 109	116			16, 17	18, 20, 22, 23, 24, 25, 109, 110, 117		
2005		31, 36, 118, 119			26	33	27, 28, 29, 30, 32, 34, 35, 37, 38	28, 36, 118	
2006	48	46, 49			46		40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 51, 52, 53	46	39
2007	55, 56	56					54, 57, 58, 59, 61	60	
2008					65, 66	68	62, 63, 64, 66, 67, 69, 70, 71, 72	67, 72	
2009		74, 76					73, 75, 77, 78, 79, 111	77	
2010	83			91	84, 86		80, 81, 82, 84, 85, 87, 88, 89, 90	82	
2011		102		97	93,98	92	94,95,96,99,100,103		101
Total	10	15	2	3	9	7	74	10	4

*) Referências: em tipo normal, do JCEd; *em itálico*, da revista *Green Chemistry*; **em negrito**, de outras revistas.

**) Para nomes completos da siglas, ver o texto.

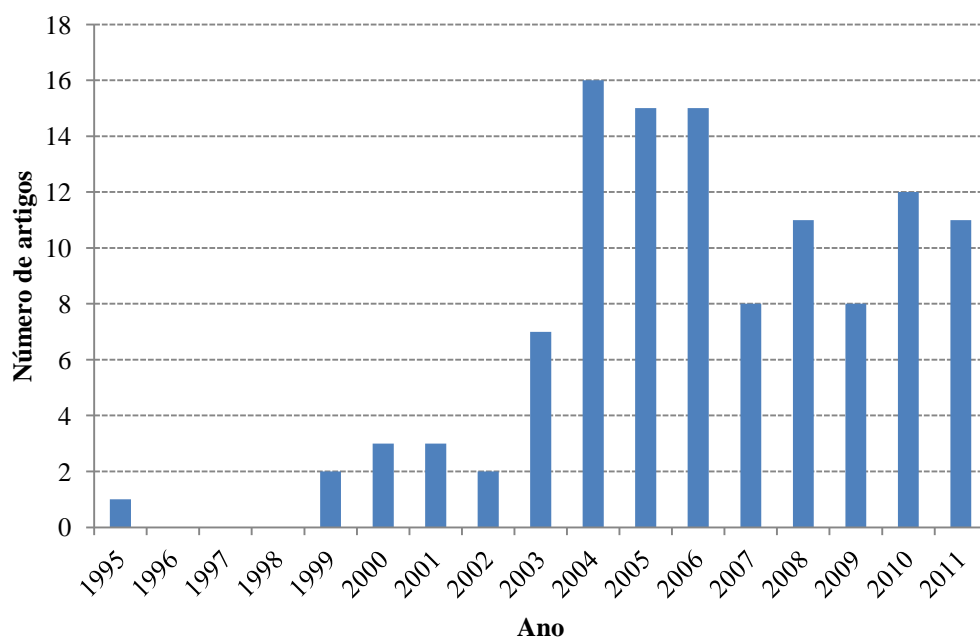


Figura 2.1. Distribuição dos artigos de índole educacional sobre QV por ano de publicação

A distribuição anual dos artigos na Figura 2.1 mostra que o primeiro artigo sobre o ensino da QV foi publicado no JCEd em 1995 [3]. Tratava-se de um artigo de divulgação, que apresenta um curso introdutório à QV; segundo o que o conteúdo programático e a bibliografia de suporte sugerem, só 9 lições (sobre catálise e biocatálise) das 25 do curso seriam dirigidas à QV – as outras contemplavam tópicos clássicos de Química Ambiental, poluição e sua remediação, embora procurando seguir uma estratégia global de QV (o artigo foi publicado antes da divulgação dos Doze Princípios da QV [120]). Os autores mencionam designações alternativas para a QV, por exemplo “Química ambientalmente benigna”, mas afirmam que QV é “a mais largamente usada” – esta afirmação refere-se possivelmente a uso coloquial, já que na literatura científica e educacional o termo era então ainda raramente empregue [121].

Só quatro anos depois, em 1999, surgem no JCEd mais dois artigos sobre QV. Um deles [4] refere o uso dos conteúdos das propostas premiadas anualmente no concurso anual da Presidential Green Chemistry Challenge [112], lançada pelo presidente Clinton em 1995, para uma atividade docente destinada a propagandar a QV em cursos de Química Ambiental e Química Industrial.¹ O outro artigo [5] analisa a complementaridade da Química a microescala relativamente à QV e mostra de modo qualitativo, sem quantificar com métricas, como alguns aspetos da prática da primeira cumprem objetivos da segunda, por exemplo:

¹ De referir que as propostas concorrentes à Presidential Green Chemistry Challenge devem contemplar situações com verdura comprovada por demonstração cabal ou prática no mundo real (nos EUA, nos cinco ano anteriores ao de atribuição).

produção de menos resíduos (e menores gastos de reagentes), uso de reagentes e/ou solventes alternativos menos perigosos, utilização de novas vias de síntese, menores tempos de reação, etc..

Nos anos seguintes, até 2002, foram publicados na literatura 2-4 artigos por ano, verificando-se depois uma subida rápida para 15-16 artigos por ano a partir de 2004. No entanto, interessantemente, em 2007 o número decresceu para 8. Este facto pode ser casual ou significar um certo “grau de descrença” na QV resultante da aplicação imprópria do termo, já que não é infrequente a “reivindicação de verdura” ser ilegítima: por vezes, os químicos melhoram a verdura de uma reação numa área, mas esquecem as outras, piorando a verdura global (a ref. [123] apresenta um exemplo que elucida esta afirmação). Em 2008, o número de artigos volta a aumentar, mas decresce novamente em 2009. Neste ano são ainda publicados dois artigos sobre o ensino, sendo que num deles [74] são descritos os resultados positivos obtidos num trabalho colaborativo entre o departamento de Química de uma Universidade e uma indústria. A partir de 2010 o número de artigos parece estar em novo crescimento. É de salientar que nos últimos anos os artigos publicados referem-se na sua grande maioria a experiências de QV.

Quanto ao alcance da bibliografia da QV, avaliado pela temática dos 117 artigos analisados, a Figura 2.2. mostra que quase um quarto se refere à divulgação e ensino (29 artigos nas classes D, E e R), apenas 10 contemplam a apresentação e cálculo de métricas (classe M). Por outro lado (não mostrado pela figura), quase 82% dos artigos (95 artigos) propõem a realização de demonstrações e experiências de QV (classes ED, LA, LG, LI e LO). Quanto a estes últimos, a grande maioria (68 artigos) refere-se a trabalhos práticos de Química Orgânica – evidenciando o menor interesse que tem havido na preparação de experiências de demonstração (2 artigos) e de laboratórios de Química Geral (9 artigos) e Química Inorgânica (7 artigos)

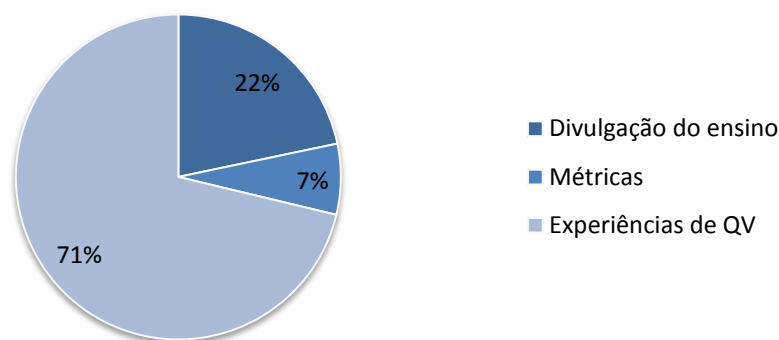


Figura 2.2. Distribuição dos artigos de índole educacional sobre QV por área temática

2.3. Discussão

A análise realizada permitiu definir algumas linhas de atuação que devem ser seguidas para se desenvolver o ensino da QV, nomeadamente por via experimental.

Um primeiro facto a realçar é o maior esforço que deve ser feito quanto à preparação de experiências de demonstração e trabalhos práticos, adequados para laboratórios de nível introdutório – são necessárias mais experiências que possibilitem primeiros contactos com a QV, para a instilar mais largamente, e de raiz, na mente dos jovens estudantes.

Outro aspeto que merece menção é a total ausência de experiências dirigidas à Química Industrial. A Química é o único ramo da ciência que tem uma indústria específica associado a ele, a Indústria Química, cuja atividade é fulcral quando se consideram os seus efeitos no ambiente e a necessidade de incrementar a verdura da Química – por isso, até para estimular o interesse pelas atividades industriais da Química, devem implementar-se experiências que mostrem as possibilidades de esverdeamento dos processos industriais.

A maioria dos artigos sobre experiências de laboratório tem vindo a ser dirigida à Química Orgânica – o que não é de espantar, porque como mostram os valores do Fator E (razão de massas entre a totalidade de massa dos resíduos produzidos e a massa do produto obtido) [124] é neste ramo da Química que o problema da baixa produtividade atómica [125] mais intensamente se põe. De qualquer modo, esta situação põe aos químicos inorgânicos o desafio de proporcionarem mais experiências de QV.

Por outro lado, com exceção de dez artigos [28, 36, 46, 60,67, 72, 77, 82, 106 e 118], que incluem o cálculo de métricas de massa para aferir a qualidade de verdura química alcançada nas experiências propostas ou em reações, esta é avaliada frequentemente de forma algo vaga e subjetiva, pelo cumprimento de alguns dos Doze Princípios da QV – e mesmo nos artigos em que há o cuidado de explicar como foi conseguido um ganho de verdura, a justificação é vulgarmente feita por afirmações qualitativas simplistas como as exemplificadas no Quadro 2.1 (por ex. [5, 11, 16, 25, 42, 53, 56, 60, 61, 64, 65, 69 e 79]). Os Doze Princípios são dirigidos aos químicos académicos de laboratório e têm-se mostrado muito úteis para propagandear a QV e ajudar a perseguir os objetivos desta, mas a Química é uma atividade muito diversificada e complexa e, por isso, a variedade de situações encontradas no mundo real a requerer modificações para aumentar a sua benignidade não é “governada” apenas por eles. Em particular, os Doze Princípios não contemplam especificamente, e não permitem aferir, a prática industrial da Química, que desde sempre, por razões de segurança, procurou processos o mais benignos possível (Alfredo Nobel foi talvez o primeiro químico verde! [126]); nomeadamente, o desenvolvimento dos processos químicos benignos exige um

conjunto de ferramentas de aferição de verdura variadas que permitam avaliações comparativas de alternativas de processos e operações, por métricas quantitativas diversas, referentes às diferentes características com relevância ambiental das substâncias, reações e processos químicos [122]. Esta situação sugere que se deve dar mais atenção à incorporação de métricas quantitativas de verdura nas experiências laboratoriais de QV, embora isso nem sempre seja fácil. A propósito da importância das métricas, aconselha-se a leitura de um artigo que mostra os progressos que o cálculo do Fator E trouxe para esverdear a Química Industrial [128].

Embora muitos dos artigos realcem a postura de criatividade e inovação que as experiências de QV permitem instilar na mente dos alunos, o que seguramente é de enaltecer, as experiências são invariavelmente apresentadas com atitude acadêmica, tradicionalmente reducionista. A ideia básica da QV é tão apelativa do ponto de vista da Sustentabilidade, que “foi agarrada” com vigor pela comunidade química acadêmica com consciência ambiental, mas a sua prática exige uma mudança de atitude por parte dos químicos, que acompanhe a da sociedade quanto ao Desenvolvimento Sustentável – requer a adoção de um paradigma de pensamento holístico, que considere como unidade básica de raciocínio os ciclos de vida do composto e do processo usado para o seu fabrico, considerando o seu alcance global, mesmo quando se considera apenas um detalhe do ciclo (só com esta nova atitude se impede o aparecimento das falsas “reivindicações de verdura” referidas atrás).

Quadro 2.1. Justificação mais vulgares da verdura alcançada nas novas experiências propostas

<p style="text-align: center;">Justificações mais vulgares da verdura alcançada nas novas experiências propostas</p> <p style="text-align: center;">Redução de...</p> <p style="text-align: center;">Quantidades e custos de reagentes estequiométricos e auxiliares (reagentes protetores, solventes, agentes de separação, etc.)</p> <p style="text-align: center;">Quantidades de resíduos produzidos e correspondentes custos de deposição</p> <p style="text-align: center;">Tempos de reação</p> <p style="text-align: center;">Toxicidade (reagentes, solventes, etc.)</p> <p style="text-align: center;">Energia despendida (reações à temperatura ambiente)</p> <p style="text-align: center;">Solventes orgânicos (por realização da reação em meio aquoso ou sem solvente)</p> <p style="text-align: center;">Aumento de...</p> <p style="text-align: center;">Segurança (eliminação de solventes tóxicos e inflamáveis e preferência pela água)</p> <p style="text-align: center;">Facilidade do isolamento e acabamento do produto (“work-up”)</p> <p style="text-align: center;">Economia atômica</p> <p style="text-align: center;">Outros</p> <p style="text-align: center;">Catalisador de origem renovável e biodegradável</p> <p style="text-align: center;">Prevenção de resíduos em vez de tratamento</p> <p style="text-align: center;">Utilizar aquecimento por micro-ondas</p>
--

2.4. Conclusão

A discussão anterior sugere que é preciso fazer sentir aos estudantes a necessidade de, tanto quanto possível, aferir quantitativamente os ganhos (ou perdas) de verdura global, em todo o ciclo de vida, quando se adotam novas propostas de reações de síntese, operações de purificação complementares, etc., dirigidas à QV – por exemplo, uma reação química intencionalmente verde pode facilmente “ser estragada” por um acabamento de produto (“work-up”) sem verdura. Em face da já referida complexidade da Química, sente-se que há lugar para a procura de novos trabalhos práticos para o ensino da QV, não só para o Ensino Superior, mas também para o Secundário, que contemplem conjuntamente a implementação de novos procedimentos laboratoriais verdes e a avaliação dos seus ganhos de verdura por cálculo de métricas, quer estequiométricas (produtividade do uso dos átomos) [125], quer ambientais, mediante a inclusão de ferramentas de aferição relativa adequada – nomeadamente, um desafio concreto a atacar será incluir métricas adequadas de verdura ambiental nas atividades de laboratório.

2.5. Bibliografia

1. D.Costa, M.G.T.C. Ribeiro e A.A.S.C. Machado, Uma Revisão a Bibliografia sobre o Ensino da Química Verde, *Boletim SPQ*, **109** (2008) 47-51
2. J. Chem. Ed., em <http://jchemed.chem.wisc.edu/Journal/Search/search.html> (acedido em Junho 2011)
3. T.C. Collins, Introduction Green Chemistry in Teaching and Research, *J. Chem. Ed.* **72** (1995) 965-966
4. M. C. Cann, Bringing State-of-the Art, Applied, Novel, Green Chemistry to the Classroom by Employing the Presidential Green Chemistry Challenge Awards, *J. Chem. Ed.* **76** (1999) 1639-1641
5. M. M. Singh, Z. Szafran e R.M. Pike, Microscale Chemistry and Green Chemistry: Complementary Pedagogies, *J. Chem. Ed.* **76** (1999) 1684-1686
6. D. L. Hjeresen, D. L. Schutt e J. M. Boese, Green Chemistry and Education, *J. Chem. Ed.* **77** (2000) 1543-1547
7. S. M. Reed e J. E. Hutchison, Green Chemistry in the Organic Teaching Laboratory: An Environmental Benign Synthesis of Adipic Acid, *J. Chem. Ed.* **77** (2000) 1627-1629
8. M. M. Kirchhoff, Topics in Green Chemistry, *J. Chem. Ed.* **78** (2001) 1577
9. N. Pohl, A. Clague e K. Schwarz, Chiral Componds and Green Chemistry in Undergraduate Organic Laboratories: Reduction of a Ketone by Sodium Borohydride and Baker's Yeast, *J. Chem. Ed.* **79** (2002) 727-728
10. B. A. Harper, J. C. Rainwater, K. Birdwhistell e D. A. Knight, Aqueous-Phase Palladium-Catalysed Coupling – A Green Chemistry Laboratory Experiment, *J. Chem. Ed.* **79** (2002) 729-731
11. D. L. Giokas, E. K. Paleologos e M. I. Karayannis, Micele-Mediated Extraction of Heavy Metals from Environmental Samples – An Environmental Green Chemistry Laboratory Experiment, *J. Chem. Ed.* **80** (2003) 61-64
12. W. Canover, Introduction to Green Chemistry (M. A. Ryan e M. Tinnesand (eds.), ACS, 2002), *J. Chem. Ed.* **80** (2003) 268
13. W. E. Wellman e M. E. Noble, Greening the Blue Bottle, *J. Chem. Ed.* **80** (2003) 537-540
14. A. M. Rosan, Green Chemistry: An Introductory Text (M. Lancaster, RSC, 2002), *J. Chem. Ed.* **80** (2003) 1141-1142
15. E. S. Uffelman, News from Online: Green Chemistry, *J. Chem. Ed.* **81** (2004) 172-176

16. E. S. Uffelman, J. R. Doherty, C. Schulze, A. L. Burke, K. R. Bonnema, T. T. Watson e D. W. Lee III, Microscale Syntheses, Reactions, and ¹H NMR Spectroscopic Investigations of Square Planar Macrocyclic Tetraamido-N Cu(III) Complexes Relevant to Green Chemistry, *J. Chem. Ed.* **81** (2004) 182-185
17. E. S. Uffelman, J. R. Doherty, C. Schulze, A. L. Burke, K. R. Bonnema, T. T. Watson e D. W. Lee III, Microscale Syntheses, Reactions, and ¹H NMR Spectroscopic Investigations of Square Planar Macrocyclic Tetraamido-N Co(III) Complexes Relevant to Green Chemistry, *J. Chem. Ed.* **81** (2004) 325-329
18. A. J. Seen, Alkene Isomerization Using a Solid Acid as Activator and Support for a Homogenous Catalyst, *J. Chem. Ed.* **81** (2004) 383-384
19. Y. Song, Y. Wang e Z. Geng, Some Exercices Reflecting Green Chemistry Concepts, *J. Chem. Ed.* **81** (2004) 691-692
20. F. Fringuelli, O. Piermatti e F. Pizzo, One-Pot Synthesis of 7-Hydroxy-3-carboxycoumarin in Water, *J. Chem. Ed.* **81** (2004) 874-876
21. M. C. Cann e T. A. Dickneider, Infusing the Chemistry Curriculum with Green Chemistry Using Real-World Examples, Web Modules, and Atom Economy in Organic Chemistry Courses, *J. Chem. Ed.* **81** (2004) 977-980
22. T. E. Goodwin, An Asymptotic Approach to the Development of a Green Organic Chemistry Laboratory, *J. Chem. Ed.* **81** (2004) 1187-1190
23. D. R. Palleros, Solvent-Free Synthesis of Chalcones, *J. Chem. Ed.* **81** (2004) 1345-1347
24. S. H. Leung e S. A. Angel, Solvent-Free Wittig Reaction: A Green Organic Chemistry Laboratory Experiment, *J. Chem. Ed.* **81** (2004) 1492-1493
25. J. J. Esteb, K. M. Gligorich, S. A. O'Reilly e J. M. Richter, Solvent Free Conversion of Naphthaldehyde to 1-Naphthoic Acid and 1-Naphthalenemethanol: Application of the Cannizzaro Reaction, *J. Chem. Ed.* **81** (2004) 1794-1795
26. S. M. McCarthy e S. W. Gordon-Wylie, A Greener Approach for Measuring Colligative Properties, *J. Chem. Ed.* **82** (2005) 116-119
27. J. M. Daley e R. G. Landolt, A Substitute for "Bromine in Carbon Tetrachloride", *J. Chem. Ed.* **82** (2005) 120-121
28. L. C. McKenzie, L. M. Huffman e J. E. Hutchison, The Evolution of a Green Chemistry Laboratory Experiment: Greener Brominations of Stilbene, *J. Chem. Ed.* **82** (2005) 306-310

29. G. W. V. Cave e C. L. Raston, Green Chemistry Laboratory: Benign Synthesis of 4,6-Diphenyl(2,2')bipyridine via Sequential Solventless Aldol and Michael Addition Reactions, *J. Chem. Ed.* **82** (2005) 468-469
30. T. M. Jones-Wilson e E. A. Burtch, A Green Starting Material for Electrophilic Aromatic Substitution for the Undergraduate Organic Laboratory, *J. Chem. Ed.* **82** (2005) 616-617
31. J. A. Haack, J. E. Hutchison, M. M. Kirchhoff e I. J. Levy, Going Green: Lecture Assignments and Lab Experiences for the College Curriculum, *J. Chem. Ed.* **82** (2005) 974-976
32. L. L. White e K. W. Kittredge, A Microwave Assisted Reduction of Cyclohexanone Using Solid-State Supported Sodium Borohydride, *J. Chem. Ed.* **82** (2005) 1055-1056
33. A. Romero, G. Hernández e M. F. Suárez, Photocatalytic Oxidation of Sulfurous Acid in an Aqueous Medium, *J. Chem. Ed.* **82** (2005) 1234-1236
34. G. D. Bennett, A Green Polymerization of Aspartic Acid for the Undergraduate Organic Laboratory, *J. Chem. Ed.* **82** (2005) 1380-1381
35. T. Friscic, T. D. Hamilton, G. P. Papaefstathiou e L. R. MacGillivray, A Template-Controlled Solid-State Reaction for the Organic Chemistry Laboratory, *J. Chem. Ed.* **82** (2005) 1679-1681
36. S. D. Van Arnum, An Approach Towards Teaching Green Chemistry Fundamentals, *J. Chem. Ed.* **82** (2005) 1689-1692
37. J. J. Esteb, J. N. Hohman, D. E. Schlamadinger e A. M. Wilson, A Solvent Free Baeyer-Villiger Lactonization for the Undergraduate Organic Laboratory: Synthesis of γ -*t*-Butyl- ϵ -caprolactone, *J. Chem. Ed.* **82** (2005) 1837-1838
38. G. A. Sereda, Comparative Methylation of 1,8-Dihydroxy-9,10-antraquinone: Chemoselectivity in the Organic Chemistry Laboratory, *J. Chem. Ed.* **82** (2005) 1839-1840
39. R. Pagni, *Environmental Chemistry*, 3^a ed (C. Baird e M. Cann, Freeman, 2005), *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 217
40. R. L. Crumbie, Environmentally Responsible Redox Chemistry: An Example of Convenient Oxidation Methodology without Chromium Waste, *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 268-269
41. M. R. Dintzner, P. R. Wucka e T. W. Lyons, Microwave-Assisted Synthesis of a Natural Insecticide on Basic Montmorillonite K10 Clay, *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 270-272

42. I. Montes, D. Sanabria, M. Garcia, J. Castro e J. Fajardo, A Greener Approach to Aspirin Synthesis Using Microwave Irradiation, *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 628-631
43. R. Musiol, B. Tyman-Szram e J. Polanski, Microwave-Assisted Heterocyclic Chemistry for the Undergraduate Organic Laboratory, *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 632-633
44. K. M. Touchette, Reductive Amination: A Remarkable Experiment for the Organic Laboratory, *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 929-930
45. K. K. W. Mak, J. Siu, Y. M. Lai e P. Chan, Mannich reactions in Room Temperature Ionic Liquids (RTILs): An Advanced Undergraduate Project of Green Chemistry and Structural Elucidation, *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 943-946
46. K. L. Cacciatore e H. Sevian, Teaching Lab Report Writing through Inquiry: A Green Chemistry Stoichiometry Experiment for General Chemistry, *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 1039-1041
47. S. Ravia, D. Gamenara, V. Scjhapiro, A. Bellomo, J. Adum, G. Seoane e D. Gonzalez, Enantioselective Reduction by Crude Plant Parts: Reduction of Benzofuran-2-yl Methyl Ketone with Carrot (*Daucus carota*) Bits, *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 1049-1051
48. J. W. Moore, Faculty Responsibilities, *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 1111
49. B. Braun, R. Charney, A. Clarens, J. Farrugia, C. Kitchens, C. Lisowski, D. Nainstat e A. O'Neil, Completing Our Education: Green Chemistry in the Curriculum, *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 1126-1129
50. J. Bennett, K. Meldi e C. Kimmell II, *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 1221-1224
51. J. Pereira e C. A. M. Afonso, Asymmetric Aldol Reaction Induced by Chiral Auxiliary, *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 1333-1335
52. A. J. F. N. Sobral, Synthesis of *meso*-Diethyl-2,2'-dipyrromethane in Water, *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 1665-1666
53. G. D. Bennett, A Green Enantioselective Aldol Condensation for the Undergraduate Organic Laboratory, *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 1871-1872
54. K. C. Nguyen e H. Weizman, Greening Wittig Reactions: Solvent-Free Synthesis of Ethyl *trans*-Cinnamate and *trans*-3-(9-Anthryl)-2-Propenoic Acid Ethyl Ester, *J. Chem. Ed.* **84** (2007) 119-121
55. E. S. Uffelman, News from Online: Renewable Resources, *J. Chem. Ed.* **84** (2007) 220-222
56. A. E. Marteel-Parrish, Toward the Greening of Our Minds: A New Special Topics Course, *J. Chem. Ed.* **84** (2007) 245-247

57. R. D. Crouch, A. Richardson, J. L. Howard, R. L. Harker e K. H. Barker, The Aldol Addition and Condensation: The Effect of Conditions on Reaction Pathway, *J. Chem. Ed.* **84** (2007) 475-476
58. G. A. Sereda e V. B. Rajpara, A Green Alternative to Aluminum Chloride Alkylation of Xylene, *J. Chem. Ed.* **84** (2007) 692-693
59. R. Gandhari, P. P. Maddukuri e T. K. Vinod, Oxidation of Aromatic Aldehydes Using Oxone, *J. Chem. Ed.* **84** (2007) 852-854
60. J. Andraos e M. Sayed, On the Use of “Green” Metrics in the Undergraduate Organic Chemistry Lecture and Lab to Assess the Mass Efficiency of Organic Reactions, *J. Chem. Ed.* **84** (2007)1004-1010
61. E. Martin e C. Kellen-Yuen, Microwave-Assisted Organic Synthesis in the Organic Lab: A Simple, Greener Wittig Reaction, *J. Chem. Ed.* **84** (2007) 2004-2006
62. J. L. Robert e K. B. Aubrecht, Ring-Opening Polymerization of Lactide To Form a Biodegradable Polymer, *J. Chem. Ed.* **85** (2008) 258-260
63. K. R. Birdwhistell, A. Nguyen, E. J. Ramos, e R. Kobelja, Acylation of Ferrocene: A Greener Approach, *J. Chem. Ed.* **85** (2008) 261-262
64. E. Aktoudianakis, E. Chan, A. R. Edward, I. Jarosz, V. Lee, L. Mui, S. S. Thatipamala, e A. P. Dicks, “Greening Up” the Suzuki Reaction, *J. Chem. Ed.* **85** (2008) 555-557
65. M. A. Klingshirn, A. F. Wyatt, R. M. Hanson, e G. O. Spessard, Determination of the Formula of a Hydrate:A Greener Alternative, *J. Chem. Ed.* **85** (2008) 819-821
66. J. C. Parajó, H. Domínguez, V. Santos, J. L. Alonso, e G. Garrote, Teaching Sustainable Development Concepts in the Laboratory:A Solid–Liquid Extraction Experiment, *J. Chem. Ed.* **85** (2008) 972-975
67. J. Ranke, M. Bahadir, M. Eissen e B. König, Developing and Disseminating NOP: An Online, Open-Access, Organic Chemistry Teaching Resource To Integrate Sustainability Concepts in the Laboratory, *J. Chem. Ed.* **85** (2008) 1000-1005
68. I. T. Sidhwani e S. Chowdhury, Greener Alternative to Qualitative Analysis for Cations without H₂S and Other Sulfur-Containing Compounds, *J. Chem. Ed.* **85** (2008) 1099-1101
69. J. E. Christensen, M. G. Huddle, J. L. Rogers, H. Yung, e R. S. Mohan, The Discovery-Oriented Approach to Organic Chemistry.7. Rearrangement of trans-Stilbene Oxide with Bismuth Trifluoromethanesulfonate and Other Metal Triflates, *J. Chem. Ed.* **85** (2008) 1274-1275

70. E. Eby e S. T. Deal, A Green, Guided-Inquiry Based Electrophilic Aromatic Substitution for the Organic Chemistry Laboratory, *J. Chem. Ed.* **85** (2008) 1426-1428
71. X. Sauvage e L. Delaude, The Synthesis of N-Benzyl-2-azanorbornenevia Aqueous Hetero Diels–Alder Reaction, *J. Chem. Ed.* **85** (2008) 1538-1540
72. M. L. Cheney, M. J. Zaworotko, S. Beaton e R. D. Singer, Cocrystal Controlled Solid-State Synthesis, *J. Chem. Ed.* **85** (2008) 1649-1651
73. S. Phonchaiya, B. Panijpan, S. Rajviroongit, T. Wright e J. T. Blanchfield, A Facile Solvent-Free Cannizzaro Reaction, *J. Chem. Ed.* **86** (2009) 85-86
74. K. A. Kneas, D. L. Armstrong, A. R. Brank, A. L. Johnson, C. A. Kissinger, A. R. Mabe, Ö. Sezer e M. Fontinell, Greening Up Auto Part Manufacturing: A Collaboration between Academia and Industry, *J. Chem. Ed.* **86** (2009) 212-215
75. L. C. McKenzie, L. M. Huffman, J. E. Hutchison, C. E. Rogers, T. E. Goodwin e G. O. Spessard, Greener Solutions for the Organic Chemistry Teaching Lab: Exploring the Advantages of Alternative Reaction Media, *J. Chem. Ed.* **86** (2009) 488-493
76. W. J. Pietro, Ethanol as an Alternative Fuel for Automobiles, *J. Chem. Ed.* **86** (2009) 579-581
77. E. Aktoudianakis, E. Chan, A. R. Edward, I. Jarosz, V. Lee, L. Mui, S. S. Thatipamala e A. P. Dicks, Comparing the Traditional with the Modern: A Greener, Solvent-Free Dihydropyrimidone Synthesis, *J. Chem. Ed.* **86** (2009) 730-732
78. S. V. Dzyuba, K. D. Kollar e S. S. Sabnis, Synthesis of Imidazolium Room-Temperature Ionic Liquids, *J. Chem. Ed.* **86** (2009) 856-853
79. M. M. Hooper e B. DeBoef, A Green Multicomponent Reaction for the Organic Chemistry Laboratory, *J. Chem. Ed.* **86** (2009) 1077-1079
80. C. E. Ballard, pH-Controlled Oxidation of an Aromatic Ketone: Structural Elucidation of the Products of Two Green Chemical Reactions, *J. Chem. Ed.* **87** (2010) 190-193
81. T. C. Wong, C. M. Sultana e D. A. Vosburg, A Green, Enantioselective Synthesis of Warfarin for the Undergraduate Organic Laboratory, *J. Chem. Ed.* **87** (2010) 194-195
82. A. Stark, D. Ott, D. Kralisch, G. Kreisel e B. Ondruschka, Ionic Liquids and Green Chemistry: A Lab Experiment, *J. Chem. Ed.* **87** (2010) 196-201
83. E. P. Zovinka e A. E. Stock, Microwave Instruments: Green Machines for Green Chemistry?, *J. Chem. Ed.* **87** (2010) 350-352
84. R. T. Nishimura, C. H. Giammanco e D. A. Vosburg, Green, Enzymatic Syntheses of Divanillin and Diapocynin for the Organic, Biochemistry, or Advanced General Chemistry Laboratory, *J. Chem. Ed.* **87** (2010) 526-527

85. L. L. W. Cheung, S. A. Styler e A. P. Dicks, Rapid and Convenient Synthesis of the 1,4-Dihydropyridine Privileged Structure, *J. Chem. Ed.* **87** (2010) 628-630
86. E. P. Wagner, M. A. Koehle, T. M. Moyle e P. D. Lambert, How Green Is your Fuel? Creation and Comparison of Automotive Biofuels, *J. Chem. Ed.* **87** (2010) 711-713
87. J. M. Teixeira, J. N. Byers, M. G. Perez e R. W. Holman, The Question-Driven Laboratory Exercise: A New Pedagogy Applied to a Green Modification of Grignard Reagent Formation and Reaction, *J. Chem. Ed.* **87** (2010) 714-716
88. H. G. Schepmann e M. Mynderse, Ring-Closing Metathesis: An Advanced Guided-Inquiry Experiment for the Organic Laboratory, *J. Chem. Ed.* **87** (2010) 721-723
89. P. A. Sims, K. M. Branscum, L. Kao e V.R. Keaveny, An Inexpensive, Relatively Green, and Rapid Method To Purify Genomic DNA from *Escherichia coli*: An Experiment for the Undergraduate Biochemistry Laboratory, *J. Chem. Ed.* **87** (2010) 1113-1115
90. P. Tundo, A. E. Rosamilia e F. Arico, Methylation of 2-Naphthol Using Dimethyl Carbonate under Continuous-Flow Gas-Phase Conditions, *J. Chem. Ed.* **87** (2010) 1233-1235
91. E. J. Olson e P. Buhlmann, Minimizing Hazardous Waste in the Undergraduate Analytical Laboratory: A Microcell for Electrochemistry, *J. Chem. Ed.* **87** (2010) 1260-1261
92. R. K. Sharma, C. Sharma e I. T. Sidhwani, Solventless and One-Pot Synthesis of Cu(II) Phthalocyanine Complex: A Green Chemistry Experiment, *J. Chem. Ed.* **88** (2011) 86-87
93. K. B. Corcoran, B. E. Rood e B. G. Trogden, Chemical remediation of nickel(II) waste: a laboratory experiment for general chemistry students, *J. Chem. Ed.* **88** (2011) 192-194
94. D. M. Young, J. J. C. Welker e K. M. Doxsee, Green Synthesis of a Fluorescent Natural Product, *J. Chem. Ed.* **88** (2011) 319-321
95. A. D. Cunningham, E. Y. Ham e D. A. Vosburg, Chemoselective Reactions of Citral: Green Syntheses of Natural Perfumes for the Undergraduate Organic Laboratory, *J. Chem. Ed.* **88** (2011) 322-324
96. R. W. Gregor e L. A. Goj, Solvent-Free Synthesis of 2,2'-Dinitrobiphenyl: An Ullmann Coupling in the Introductory Organic Laboratory, *J. Chem. Ed.* **88** (2011) 331-333

97. S. Armenta e M. de la Guardia, Determination of Mercury in Milk by Cold Vapor Atomic Fluorescence: A Green Analytical Chemistry Laboratory Experiment, *J. Chem. Ed.* **88** (2011) 488-490
98. E. Klotz, R. Doyle, E. Gross, e B. Mattson, The Equilibrium Constant for Bromothymol Blue: A General Chemistry Laboratory Experiment Using Spectroscopy, *J. Chem. Ed.* **88** (2011) 637-639
99. S. Dhingra e C. Angrish, Qualitative Organic Analysis: An Efficient, Safer, and Economical Approach to Preliminary Tests and Functional Group Analysis, *J. Chem. Ed.* **88** (2011) 649-651
100. P. T. Lang, A. M. Harned e J. E. Wissinger, Oxidation of Borneol to Camphor Using Oxone and Catalytic Sodium Chloride: A Green Experiment for the Undergraduate Organic Chemistry Laboratory, *J. Chem. Ed.* **88** (2011) 652-656
101. R. E. Belford, Review of Chasing Molecules: Poisonous Products, Human Health, and the Promise of Green Chemistry, *J. Chem. Ed.* **88** (2011) 701-702
102. Y. M. Chan, W. Hom e J. K. Montclare, Implementing and Evaluating Mentored Chemistry-Biology Technology Lab Modules To Promote Early Interest in Science, *J. Chem. Ed.* **88** (2011) 751-754
103. C. E. Ballard, Green Reductive Homocoupling of Bromobenzene, *J. Chem. Ed.* **88** (2011) 1148-1151
104. Z. Zafran, M. M. Singh e R. M. Pike, The Philosophy of Green Chemistry as Applied to the Microscale Inorganic Chemistry Laboratory, *Educación Química* **11** (2000) 172-173
105. M. Hulce e D. W. Mays, Organic-Solvent-Free Phase-Transfer Oxidation of Alcohols Using Hydrogen Peroxide, *J. Chem. Ed.* **78** (2001) 66-67
106. L. M. O. C. Merat e R. A. S. San Gil, Inserção do Conceito de Economia Atômica no Programa de uma Disciplina de Química Orgânica Experimental, *Química Nova* **26** (2003) 779-781.
107. J. J. Esteb e M. B. Stockton, A Solvent-Free Claisen Condensation Reaction for the Organic Laboratory, *J. Chem. Ed.* **80** (2003) 1446-1447
108. J. J. Esteb, M. W. Schelle e A. M. Wilson, A Solvent-Free Oxidation of Alcohols in an Organic Laboratory, *J. Chem. Ed.* **80** (2003) 907-908
109. E. S. Santos, I. C. G. Garcia e E. F. L. Gomez, Caring for the Environment While Teaching Organic Chemistry, *J. Chem. Ed.* **81** (2004) 232-238
110. L. C. McKenzie, L. M. Huffman, K. E. Parent, J. E. Hutchison e J. E. Thompson, Patterning Self-Assembled Monolayers on Gold, *J. Chem. Ed.* **81** (2004) 545-548

111. T. M. R. Maria, R. M. D. Nunes, M. M. Pereira e M. E. S. Eusébio, Argilas como catalisadores verdes na esterificação do colesterol. Caracterização espectroscópica e identificação de polimorfos por métodos de análise térmica. uma proposta laboratorial interdisciplinar para o 1º ciclo universitário, *Química Nova* **32** (2009) 2225-2229
112. M. G. Warner, G. L. Succaw e J. E. Hutchison, Solventless Syntheses of Mesotetraphenylporphyrin: New Experiments for a Greener Organic Chemistry Laboratory Curriculum, *Green Chem.* **3** (2001) 267-270
113. S. Tavener, J. Hardy, N. Hart e A. Goddard, Teaching Green Chemistry: From Lemons to Lemonade Bottles, *Green Chem.* **5** (2003) G46-G48
114. A. F. Hourri e H. Wehbe, Towards an environmentally Friendly Chemistry Laboratory: Managing Expired Chemicals, *Green Chem.* **5** (2003) G49-G50
115. W. Leitner, Focus on Education in Green Chemistry, *Green Chem.* **6** (2004) 351
116. P. Licence, D. Litchfield, M. P. Dellar e M. Poliakoff, “Supercriticality”: A Dramatic But Safe Demonstration of the Critical Point, *Green Chem.* **6** (2004) 352-354
117. L. C. McKenzie, J. E. Thompson, R. Sullivan e J. E. Hutchison, Green Chemical Processing in the Teaching Laboratory: A Convenient Liquid CO₂ Extraction of Natural Products, *Green Chem.* **6** (2004) 355-358
118. S. Grant, A. A. Freer, J. M. Winfield, C. Gray e D. Lennon, Introducing Undergraduates to Green Chemistry: An Interactive Teaching Exercise, *Green Chem.* **7** (2005) 121-128
119. S. L. Y. Tang, R. L. Smith e M. Poliakoff, Principles of Green Chemistry: PRODUCTIVELY, *Green Chem.* **7** (2005) 761-762
120. P. T. Anatas e J. C. Warner, *Green Chemistry – Theory and Practice*, Oxford UP (1998)
121. E. J. Woodhouse e S. Breyman, Green Chemistry as Social Movement?, *Sci. Techn. & Hum. Values* **30** (2005) 199-222
122. Presidential Green Chemistry Challenge, em <http://www.epa.gov/gcc/pubs/pgcc/presgcc.html> (acedido em Junho 2011)
123. D. G. Blackmond, A. Armstrong, V. Coombe e A. Wells, Water in Organocatalytic Processes: Debunking the Myths, *Angew.Chem.Int. Ed.* **46** (2007) 3798-3800.
124. R. A. Sheldon, Organic Synthesis – Past, Present and Future, *Chem. Ind. (London)* **23** (1992) 903-906
125. A. A. S. C. Machado, Métricas da Química Verde – A Produtividade Atômica, *Boletim SPQ*, **107** (2007) 47-55

126. A. A. S. C. Machado, Alfred Nobel – O “Primeiro Químico Verde”?, Boletim SPQ, **103** (2006) 45-55
127. D. T. Allen e D. R. Shonnard, *Green Engineering – Environmentally Conscious Design of Chemical Processes*, Prentice-Hall (2002)
128. R. A. Sheldon, The E Factor: Fifteen Years On, *Green Chem.* **9** (2007) 1273-1283

CAPÍTULO 3

MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO DE VERDURA – ESTRELA VERDE

3.1. Objetivos

Neste capítulo efetua-se a descrição da ferramenta gráfica de avaliação da verdura global, denominada “Estrela Verde” (EV) (concretizado em *Microsoft Excel*), construída para efetuar a análise do grau de verdura das atividades de Química e que foi usada nesta dissertação para aferir a verdura das experiências propostas nos atuais currículos de Química do Ensino Secundário. Esta ferramenta foi montada e sucessivamente melhorada tendo por base o conjunto dos Doze Princípios da Química Verde em globo com postura sistémica (e não considerados individualmente, como é habitual quando se aborda a ciências com a postura reducionista tradicional).

3.2. Fundamentação da EV e sua construção

A EV é uma métrica holística que entra em linha de conta, simultaneamente, com todos os Doze Princípios da QV [1-2] aplicáveis a cada situação laboratorial em análise (reação de síntese, etc.), para avaliação da verdura desta. A ideia básica da EV é a construção de uma estrela constituída por tantas pontas quantos os princípios usados na avaliação da verdura e em que o comprimento de cada ponta é proporcional ao grau de cumprimento do respetivo princípio – uma visão semi-quantitativa da verdura pode ser obtida por apreciação visual, simples e imediata, da área da EV: a verdura é tanto maior quanto maior for a área [3-6].

3.2.1. Definição de critérios

Inicialmente foram formulados os critérios de aferição do grau de verdura que tiveram como base os Doze Princípios da QV, apresentados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1. Os Doze Princípios da Química Verde [2]

1 – Prevenção

É melhor prevenir a formação de resíduos do que ter de tratá-los, depois de se terem criado, para eliminar as suas propriedades tóxicas.

2 – Economia atômica

Os métodos sintéticos devem ser planificados de modo a maximizar a incorporação no produto final de todas as substâncias usadas ao longo do processo.

3 – Sínteses menos perigosas

Sempre que possível, os métodos sintéticos devem ser planificados de modo a usar e produzir substâncias não tóxicas (ou pouco tóxicas) para a saúde humana e a ecossfera.

4 – Planificação a nível molecular de produtos mais seguros

Os produtos químicos devem ser planificados a nível molecular de modo a cumprir as funções desejadas e a minimizar a sua toxicidade.

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 usados, esses agentes devem ser inócuos.

6 – Planificação para conseguir eficiência energética

Deve-se reconhecer os impactos económicos e ambientais dos requisitos energéticos dos processos químicos e minimizá-los; quando possível, os métodos sintéticos devem ser realizados à temperatura e pressão ambientais ou próximas destas.

7 – Uso de matérias primas renováveis

Sempre que for técnica e economicamente praticável, devem-se usar matérias primas e recursos renováveis de preferência a não renováveis.

8 – Redução das derivatizações

Devem-se minimizar ou, se possível, evitar derivatizações (uso de grupos bloqueadores, de passos de proteção/desproteção, e de modificações temporárias na molécula para permitir processos físicos/químicos) porque tais etapas requerem reagentes adicionais e podem produzir resíduos.

9 – Catalisadores

Devem-se preferir reagentes catalíticos (tão seletivos quanto possível) a reagentes estequiométricos.

10 – Planificação para a degradação

Os produtos químicos devem ser planificados a nível molecular de modo que no fim do seu uso não persistam no ambiente e se decomponham em produtos de degradação inócuos.

11 – Análise para a prevenção da poluição em tempo real

Deve-se procurar usar métodos analíticos que permitam monitorização direta dos processos de fabrico em tempo real e controlo precoce da formação de substâncias perigosas.

12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes

As substâncias usadas e as formas da sua utilização nos processos químicos de fabrico devem minimizar o potencial de ocorrência de acidentes químicos, tais como fugas, explosões e incêndios.

Para construir a EV referente a uma experiência, começa por inventariar-se todas as substâncias intervenientes: reagentes, produtos e coprodutos obtidos, catalisadores, solventes, agentes de purificação, secantes e resíduos formados. Neste texto, usam-se as seguintes definições:

- Reagentes estequiométricos – são os reagentes que participam na reação química, e que aparecem nas equações químicas.
- Reagentes auxiliares – são os reagentes que participam na reação química, mas não aparecem nas equações químicas, por exemplo catalisadores, solventes etc.
- Resíduos – todo o material que vai ser descartado (reagentes em excesso, solventes, substâncias auxiliares, coprodutos), exceto o produto sintetizado.

Para cada uma destas substâncias, recolhe-se informação nos MSDS (esta sigla abrevia a designação “Material Safety Data Sheet”) [7]) acerca dos riscos para a saúde e para o ambiente, inflamabilidade, reatividade e degradabilidade em produtos com risco para o ambiente. O desenvolvimento de novos produtos químicos e a crescente diversidade de uso dos mesmos, tornaram cada vez mais evidente a necessidade de informação especializada sobre como usar (com segurança), armazenar e manusear estes materiais. Em consequência, tornou-se obrigatória a inclusão, pelos fabricantes de produtos químicos, de informações de perigo nos rótulos dos produtos químicos, assim como o fornecimento ao comprador de uma ficha de dados de segurança (MSDS) [8].

Os MSDS apresentam indicações quanto aos riscos de acordo com diversas normas existentes: (i) as normas europeias, utilizadas em Portugal, em que são utilizados os símbolos indicativos das frases de risco/segurança na rotulagem das embalagens dos compostos, onde aparecem indicações de risco para a saúde, ambiente bem como de inflamabilidade e reatividade; e (ii) os HMIS (a sigla abrevia a designação “Hazardous Material Identification System” [9]) que indicam riscos para a saúde, com indicação da existência de riscos crónicos, bem como inflamabilidade e reatividade (risco físico), mas não apresentam a indicação de riscos para o ambiente, tendo essa informação que ser recolhida na secção 12 (informação ecológica / ecotoxicidade) dos MSDS, a qual é muitas vezes omissa.

Os HMIS surgiram para proteger os trabalhadores contra os riscos dos produtos químicos, o que levou a *Occupational Safety & Health Administration* dos E.U.A. (OSHA) a exigir que as informações relativas aos perigos fossem comunicadas aos mesmos [10]. Esta exigência da OSHA levou a que a *National Paint & Coatings Association* (NPCA) desenvolvesse os HMIS. Os HMIS pretendem informar os empregados sobre riscos para a saúde dos produtos químicos e incluem informação sobre o tipo de Equipamento de Protecção

Individual (EPI) que deve ser utilizado na sua manipulação. Os HMIS possuem 3 secções: risco para a saúde, inflamabilidade e risco físico (esta última veio substituir uma secção sobre a reatividade e advém de que ocorre perigo físico ao manipular-se todo e qualquer agente químico para o qual há evidência científica de que se trata de um líquido combustível, gás comprimido, explosivo, inflamável, peróxido orgânico, oxidante, pirofosfórico, instável (reativo) ou reativo com água [9]).

A cada um dessas secções foi atribuída uma pontuação de risco de 0 a 4, correspondendo o 4 ao risco máximo (Tabela 1 pormenorizada no anexo I), mas a pontuação de risco para a saúde pode ter associado um asterisco ao número - quando presente, o asterisco indica riscos crónicos para a saúde [9].

Para além das informações sobre os riscos para a saúde e para o ambiente, inflamabilidade, reatividade e degradabilidade, foram ainda recolhidas informações sobre se as substâncias constituem ou são obtidas de matérias-primas renováveis. No caso das informações recolhidas não serem consistentes para algum dos aspetos, usou-se o valor mais penalizador, por razões de segurança.

Com base nestas informações foram construídos dois tipos de EV, uma tendo por base os dados dos HMIS das substâncias e outra os símbolos indicativos das frases de risco/segurança, usados na rotulagem das embalagens dos compostos.

Para a sua construção começa por atribuir-se a cada substância uma pontuação de 1 (benignidade máxima) a 3, de acordo com os riscos para a saúde humana e para o ambiente (Tabelas 3.1 ou 3.2), e de acidente (Tabelas 3.3 ou 3.4), seguindo critérios que são apresentados a seguir tendo em vista o objetivo e a exequibilidade de utilização. Pontuam-se também as substâncias de acordo a sua degradabilidade e se são ou não matérias-primas renováveis (Tabela 3.5).

A EV é construída atribuindo a pontuação 1, 2 ou 3 (máximo de verdura) a cada um dos Doze Princípios da QV, de acordo com os critérios definidos na Tabela 3.6. No caso de não haver informações suficientes para pontuar algum dos princípios, atribui-se-lhe a pontuação 1, considerando a situação mais desfavorável ou de maior risco.

Tabela 3.1. Riscos para a saúde humana e o ambiente das substâncias envolvidas considerando os símbolos das frases de risco

Toxicidade das substâncias envolvidas	Símbolos de Risco	Pontuação
Toxicidade Saúde	C - corrosivo T – tóxico T+ – muito tóxico	3
	Xi – irritante Xn – prejudicial	2
	Nenhuma indicação	1
Toxicidade Ambiente	N – perigoso para o ambiente	3
	Nenhuma indicação	1

Tabela 3.2. Riscos para a saúde humana e o ambiente das substâncias envolvidas considerando os HMIS

Toxicidades das substâncias envolvidas		Pontuação
HMIS (saúde)	2*,3,3*,4 Perigoso para o ambiente	3
	1, 2	2
	0	1
MSDS – Informação ecológica	Risco para o ambiente	3
	Sem risco	1

Tabela 3.3. Riscos de acidente das substâncias envolvidas considerando os símbolos das frases de risco

Riscos de acidente	Símbolos de Risco	Pontuação
Toxicidade Saúde	C - corrosivo T – tóxico T+ – muito tóxico	3
	Xi – irritante Xn – prejudicial	2
	Nenhuma indicação	1
Inflamabilidade	F – muito inflamável F+ – extremamente inflamável	3
	Nenhuma indicação	1
Reatividade	E – explosivo O – agente oxidante	3
	Nenhuma indicação	1

Tabela 3.4. Riscos de acidente das substâncias envolvidas considerando os HMIS

Risco de acidente		Pontuação
HMIS (saúde)	2*,3,3*,4	3
	1, 2	2
	0	1
HMIS (inflamabilidade)	3,4	3
	1, 2	2
	0	1
HMIS (risco físico/reactividade)	3,4	3
	1, 2	2
	0	1

Tabela 3.5. Características de degradabilidade e renovabilidade das substâncias envolvidas

Características de degradabilidade e renovabilidade substâncias envolvidas		Pontuação
Degradabilidade	Degradáveis ou que se decomponham em produtos de degradação inócuos	1
	Possam ser tratadas para obter degradação e se decomponham em produtos de degradação inócuos	2
	Não degradáveis ou que não possam ser tratados para se obter a sua degradação em produtos de degradação inócuos	3
Renovabilidade	Renováveis	1
	Não renováveis	3

Tabela 3.6. Componentes e pontuações para construir a EV (p=pontuação)

Princípio da QV	Critérios	p
P1 – Prevenção	Todos os resíduos são inócuos (p=1, Tabela 3.1 ou 3.2)	3
	Resíduos pouco tóxicos (p=2 ou p=2 e p=1, Tabela 3.1 ou 3.2)	2
	Formação de pelo menos um resíduo tóxico (p=3, Tabela 3.1 ou 3.2)	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, Tabela 3.1 ou 3.2)	3
	Reações em que todas as substâncias envolvidas são pouco tóxicas (p=2 ou p=2 e p=1, Tabela 3.1 ou 3.2)	2
	Reações que envolvem pelo menos uma substâncias tóxica (p=3, Tabela 3.1 ou 3.2)	1
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	Os solventes e as substâncias auxiliares envolvidas não existem ou são inócuas (p1, Tabela 3.1 ou 3.2)	3
	Os solventes e as substâncias auxiliares envolvidos são pouco tóxicos (p=2 ou p=2 e p=1, Tabela 3.1 ou 3.2)	2
	Pelo menos um dos solventes ou uma das substâncias auxiliares envolvidas são tóxicos (p=3, Tabela 3.1 ou 3.2)	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 ambiental e temperatura muito afastada da ambiental	1
P7 – Uso de matérias primas renováveis	Todos os reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos são renováveis (p=1, Tabela 3.5)	3
	Alguns dos reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos é renovável (p=1 e p=3, Tabela 3.5)	2
	Nenhum dos reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos é renovável (p=3, Tabela 3.5)	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 (p1, Tabela 3.1 ou 3.2)	3
	Reações em se utilizam catalisadores pouco tóxicos (p=2 ou p=2 e p=1, Tabela 3.1 ou 3.2)	2
	Reações em que se utilizam catalisadores tóxicos (p=3, Tabela 3.1 ou 3.2)	1
P10 – Planificação para a degradação	Todos os reagentes, produtos, etc., são degradáveis com os produtos de degradação inócuos (p=1, Tabela 3.5)	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=2, Tabela 3.5)	2
	Pelo menos um dos reagentes, produtos, etc., não é degradável nem pode ser tratado para obter a sua degradação (p=3 ou p=3 e p=1/p=2, Tabela 3.5)	1
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	Atividades em que não pareça haver qualquer risco óbvio de acidente (p=1, Tabela 3.3 ou 3.4)	3
	Atividades em que há um risco moderado/baixo de acidente, facilmente controlável (p=2 ou p=2 e p=1, Tabela 3.3 ou 3.4)	2
	Atividades em que há um risco elevado de acidente (p=3 ou p=3 e p=1/p=2, Tabela 3.3 ou 3.4)	1

3.2.2. Construção da EV

Atendendo aos critérios referidos anteriormente e tendo por base a classificação de verdura para cada princípio para uma dada experiência foi construído um gráfico radial – EV – em que a área verde corresponde aos aspetos que são benignos e a parte incolor corresponde aos aspetos nocivos. Assim, quanto maior a área verde maior é a benignidade da experiência. Para o máximo de verdura, a pontuação será 3 para todos os princípios e obtém-se uma estrela de área (verdura) máxima, conforme se apresenta na Figura 3.1a. O mínimo de verdura corresponderá à pontuação de 1 para todos os princípios, sendo este caso de verdura nula (área mínima) representado na Figura 3.1b. Nestas figuras, a EV é representada apenas com dez dimensões, cada uma referente a um princípio da QV – os princípios 4 e 11 foram excluídos, já que no Ensino não se costuma realizar a conceção de novos produtos químicos, à qual estes princípios se aplicam [3-6].

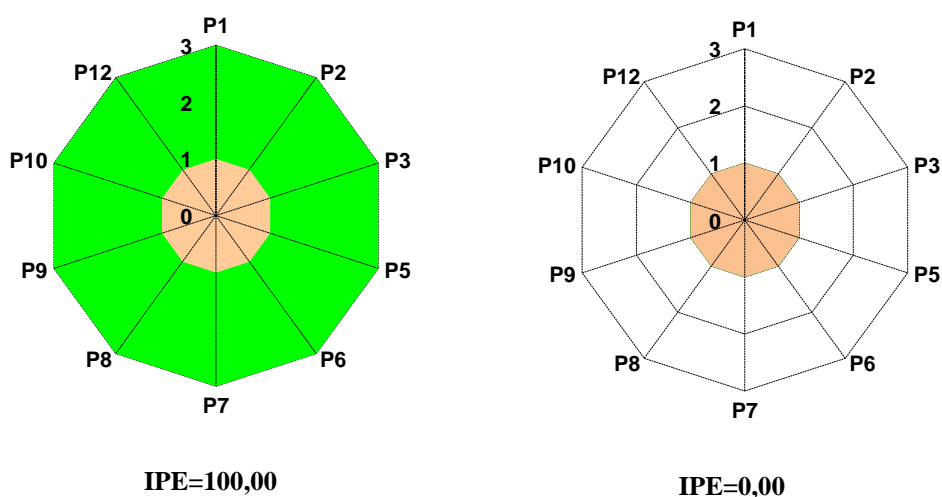


Figura 3.1a. Estrela de verdura máxima **Figura 3.1b.** Estrela de verdura mínima

Em certos casos, pode ser difícil a mera comparação visual das estrelas para avaliar a diferença de verdura, pelo que se sentiu a necessidade de exprimir quantitativamente a verdura de cada estrela. Para este fim calculou-se a percentagem de área verde da estrela relativamente à área de uma estrela de verdura máxima ($100 \times \text{área verde da estrela} / \text{área verde da estrela de verdura máxima}$) – a que se chamou Índice de Preenchimento da Estrela (IPE). Para a estrela de verdura máxima, $\text{IPE}=100$, para a de mínima, $\text{IPE}=0$.

No caso das experiências envolverem sínteses, considerou-se os 10 princípios referidos anteriormente na avaliação do grau de verdura. No caso das atividades laboratoriais que não envolvem reação de síntese construiu-se uma EV simplificada, uma vez que neste

tipo de atividade não se avaliam os princípios 2, 3, 8 e 9, o que só faz sentido para reações de síntese.

3.3. Exemplos

Em seguida, apresenta-se um exemplo de construção de EV para uma experiência que envolve uma reação de síntese, e dois exemplos de experiências que não envolvem reações de síntese. Nestes três exemplos utilizaram-se os símbolos indicativos das frases de risco/segurança, usados na rotulagem das embalagens dos compostos e os HMIS - por vezes a EV obtida utilizando os símbolos é igual à EV obtida utilizando os HMIS, outras vezes não. As EV apresentadas foram escolhidas do conjunto das EV construídas para uma grande maioria das experiências do 10º e 11º anos. Fez-se esse estudo para avaliar qual dos métodos apresentava mais vantagens para a construção da EV.

3.3.1. Exemplo 1: EV de uma experiência constituída por uma reação de síntese

Apresenta-se como exemplo a construção da EV da atividade laboratorial AL1.2, síntese do sal complexo sulfato de tetraminocobre(II) monoidratado, proposta no programa do 11º ano de escolaridade [11]. A síntese é realizada a partir da reação química entre soluções aquosas de amoníaco e sulfato de cobre pentaidratado. Usa-se o etanol como solvente e um banho de gelo, para arrefecimento da mistura reacional, para promover a cristalização do produto.

Inicialmente identificam-se todas as substâncias usadas na síntese e, em seguida, procedeu-se à recolha de informação (símbolos e HMIS), e a partir dessas informações foram atribuídas pontuações às substâncias, numa escala de 1 (benignidade máxima) a 3, seguindo os critérios definidos anteriormente, construindo-se as Tabelas 3.7 e 3.8.

Tabela 3.7. Riscos e pontuações dos riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas considerando os símbolos na AL 1.2 do 11º Ano

Substâncias envolvidas	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Amoníaco (solução a 25%)	C,N	3	3	3
Sulfato de cobre pentaidratado	Xn, N	2	3	2
Substâncias auxiliares				
Etanol	F	1	1	3
Produto				
Sulfato de tetraaminocobre(II) monohidratado	Xi	2	1	2
Resíduos				
Amoníaco (aq)	C, N	3	3	3
Etanol	F	1	1	3

Tabela 3.8. Riscos e pontuações dos riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas considerando os HMIS na AL 1.2 do 11º Ano (p = pontuação)

Substância envolvidas	HMIS			MSDS	Pontuações		
	Risco saúde	Inflamabilidade	Risco físico	Informação ecológica	P riscos saúde	P riscos ambiente	P riscos acidente
Reagentes							
Amoníaco (solução a 25%)	3	1	0	Risco para o ambiente	3	3	3
Sulfato de cobre pentaidratado	2*	0	1	Risco para o ambiente	3	3	3
Substâncias auxiliares							
Etanol	2*	3	1	Não são esperados	3	1	3
Produto							
Sulfato de tetraaminocobre(II) monohidratado	2	1	2	Sem informação	2	1	2
Resíduos							
Amoníaco (aq)	3	1	0	Risco para o ambiente	3	3	3
Etanol	2*	3	1	Não são esperados	3	1	3

Atendendo à informação recolhida, procedeu-se à avaliação do grau de verdura da experiência relativamente a cada um dos princípios. Para cada um dos princípios atribuiu-se nível 1, 2 ou 3, dependendo do grau de verdura (esta classificação teve por base os critérios definidos anteriormente, na Tabela 3.6) e a análise apresenta-se na Tabela 3.9.

Tabela 3.9. Pontuações para construir as EV da AL 1.2 do 11º Ano (p = pontuação)

Princípios da QV	EV com símbolos		EV com HMIS	
	P	Explicação	P	Justificação
P1 – Prevenção	1	Amoníaco (N) nos resíduos	1	Etanol (saúde 2*), amoníaco (saúde 3 e extremamente tóxico para o ambiente)
P2- Economia atômica	2	Grande excesso de amoníaco e sem coprodutos	2	Grande excesso de amoníaco e sem coprodutos
P3 – Sínteses menos perigosas	1	Sulfato de cobre (N), amoníaco (N)	1	Sulfato de cobre (saúde 2*), amoníaco (saúde 3, e extremamente tóxico para o ambiente) e etanol (saúde 2*)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Etanol sem indicação de toxicidade	1	O solvente é etanol (saúde 2*)
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	2	Arrefecimento a 0°C	2	Arrefecimento a 0°C
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável
P8 – Redução de derivatizações	3	Sem derivatizações	3	Sem derivatizações
P9 – Catalisadores	3	Sem catalisadores	3	Sem catalisadores
P10 – Planificação para a degradação	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Etanol (F), amoníaco (C)	1	Sulfato de cobre (saúde 2*), sulfato de tetraaminocobre (saúde 2*), amoníaco (saúde 3) e etanol (saúde 2*, inflamabilidade 3)

Utilizando o programa *Microsoft Excel* procedeu-se à construção da EV. Para se construir o gráfico cria-se no Excel uma tabela (Figura 3.2.) contendo os princípios que se vão analisar em linha, assim como as seguintes três situações, em coluna:

- Experiência ideal – uma experiência totalmente verde, ou seja uma experiência que tenha nível 3 (totalmente verde) relativamente a todos os princípios.
- Experiência em estudo – a experiência em estudo, cujo grau de verdura relativamente a cada um dos princípios foi aferido anteriormente (Tabela 3.9)
- Experiência execrável – uma experiência nada verde, ou seja, uma experiência que tenha nível 1 relativamente a todos os princípios.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2		P1	P2	P3	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P12
3	Ideal	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	AL 1.2	1	2	1	3	2	1	3	3	1	1
5	Execrável	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 3.2. Construção da tabela em Excel

Em seguida, usando a ferramenta gráfica do Excel traça-se um gráfico radial preenchido a partir da tabela criada (Figura 3.3).

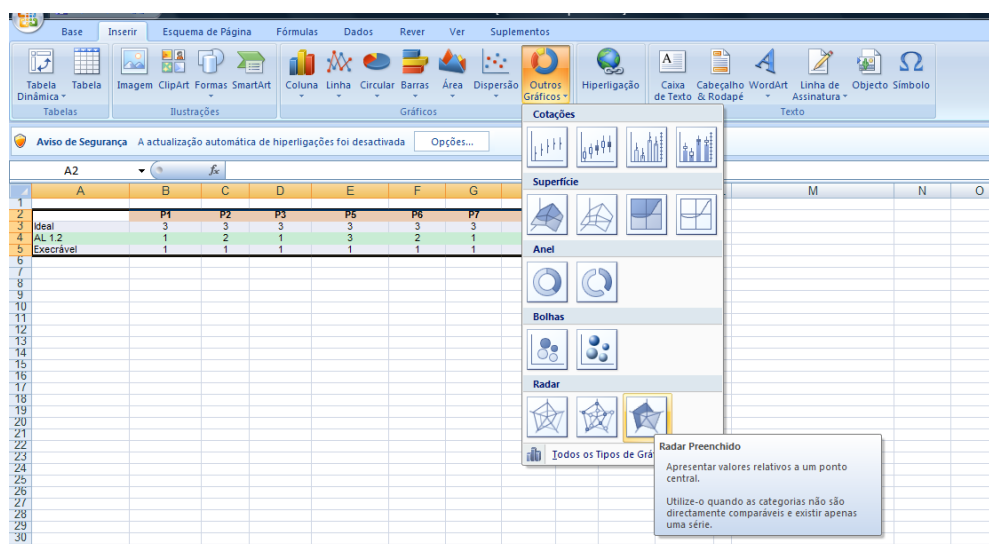


Figura 3.3. Construção gráfica da EV

Obtém-se, deste modo, a EV da atividade experimental utilizando os símbolos (Figura 3.4A) ou os HMIS (Figura 3.4B).

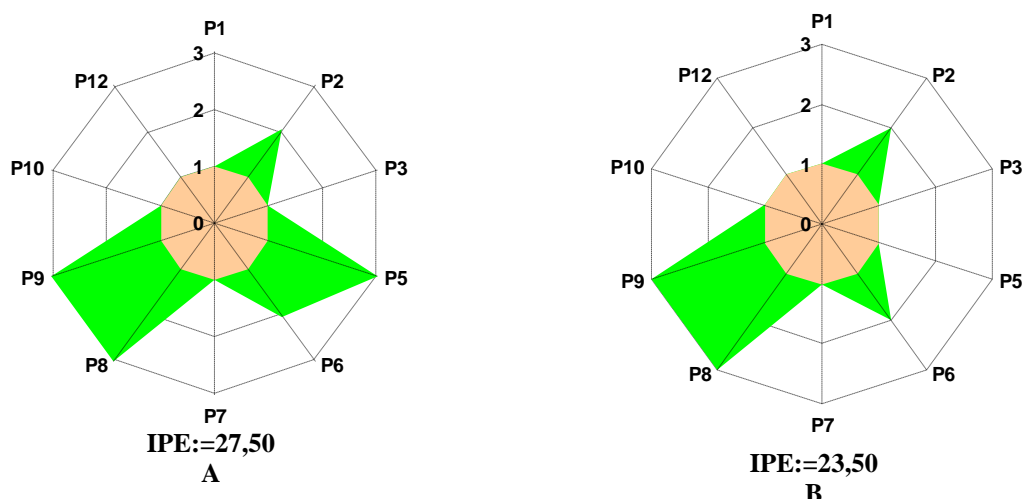


Figura 3.4. EV da AL 1.2 do 11º Ano: **A)** considerando os símbolos, **B)** considerando os HMIS

Verifica-se que a EV obtida utilizando os símbolos, apresenta um maior grau de verdura, do que a EV utilizando os HMIS, devido a diferenças de pontuação do princípio 5 - na EV utilizando os HMIS, a pontuação é 1 porque a substância auxiliar utilizada como solvente (etanol) apresenta nível 2* para a saúde, enquanto na EV utilizando os símbolos a pontuação é 3 porque o etanol não tem indicação de riscos para a saúde. Para todos os outros princípios a pontuação é a mesma nos dois casos. Para o oitavo e nono princípio a pontuação é 3, pois não é realizada nenhuma derivatização durante o processo de síntese e não são utilizados catalisadores. O facto de se utilizar reagente em excesso e de ser necessário arrefecer a mistura, reduz a pontuação do segundo e sexto princípio a 2. Para o primeiro e

terceiro princípios, a pontuação é 1, pois as substâncias envolvidas apresentam riscos elevados para o ambiente e para a saúde. A pontuação para o sétimo e décimo princípios reduz-se também a 1, pois as substâncias utilizadas não são renováveis, nem degradáveis com produtos de degradação inócuos. No que se refere ao décimo segundo princípio a pontuação é 1 pois as substâncias envolvidas, amoníaco (C, 3) e etanol (F, 2*), apresentam riscos elevados para a saúde e de acidente.

3.3.2. Exemplo 2: EV de uma experiência que não envolve uma reação de síntese

Em seguida, apresenta-se como exemplo a construção da EV da atividade laboratorial AL 2.5, estudo da solubilidade do carbonato de sódio em etanol, proposta no programa do 11º ano de escolaridade [11]. Pretende-se nesta atividade analisar alguns fatores que afetam a solubilidade de um soluto num solvente e como não se trata de uma síntese construiu-se uma EV simplificada, envolvendo apenas os princípios um, cinco, seis, sete, dez e doze.

A recolha de informação sobre todas as substâncias envolvidas permitiu obter as Tabelas 3.10 e 3.11.

Tabela 3.10. Riscos e pontuações dos riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas considerando os símbolos na AL 2.5 do 11º Ano

AL 2.5 - Solubilidade do carbonato de sódio em etanol .	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Carbonato de cálcio ²	Xi	2	1	2
Etanol	F	1	1	3
Resíduos				
Carbonato de cálcio ²	Xi	2	1	2
Etanol	F	1	1	3

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 3.11. Riscos e pontuações dos riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas considerando os HMIS na AL 2.5 do 11º Ano (p = pontuação)

Substância envolvidas	HMIS			MSDS	Pontuações		
	Risco saúde	Inflamabilidade	Risco físico	Informação ecológica	P riscos saúde	P riscos ambiente	P riscos acidente
Reagentes							
Carbonato de cálcio ²	2	0	0	Sem riscos	2	1	2
Etanol	2*	3	1	Não são esperados	3	1	3
Resíduos							
Carbonato de cálcio ²	2	0	0	Sem riscos	2	1	2
Etanol	2*	3	1	Não são esperados	3	1	3

A avaliação do grau de verdura da experiencia, relativamente a cada um dos princípios relevantes, permitiu construir a Tabela 3.12.

Tabela 3.12. Pontuações para construir as EV da AL 2.5 do 11º Ano (p = pontuação)

EV PRINCÍPIOS	EV com símbolos		EV com HMIS	
	P	Justificação	P	Justificação
P1 – Prevenção	2	Carbonato de cálcio (Xi)	1	Etanol (saúde2*)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Substâncias não renováveis (carbonato de cálcio e etanol)	1	Substâncias não renováveis (carbonato de cálcio e etanol)
P10 – Planificação para a degradação	1	Etanol não degradável	1	Etanol não degradável
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Etanol (F)	1	Etanol (saúde2*, inflamabilidade 3)

Na Figura 3.5 apresentam-se as EV obtidas, que são diferentes conforme se utilizam os símbolos ou os HMIS, verificando-se que a EV obtida utilizando os símbolos apresenta um maior grau de verdura do que a EV utilizando os HMIS.

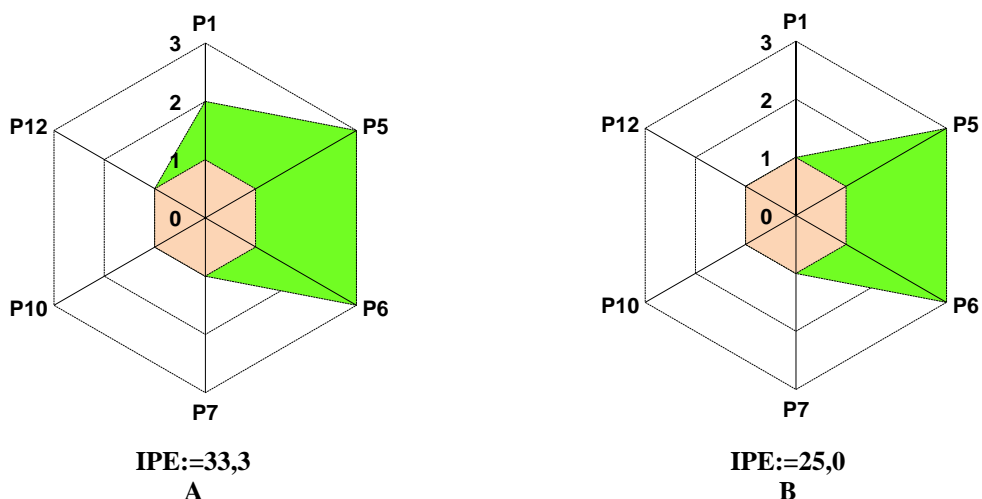


Figura 3.5. EV da AL 2.5 do 11º Ano: **A)** considerando os símbolos, **B)** considerando os HMIS

A diferença ocorre apenas no princípio 1 - na EV utilizando os símbolos, a pontuação é 2 porque o carbonato de cálcio (Xi) é irritante e o etanol não tem indicação risco para a saúde nem para o ambiente, enquanto que na EV utilizando os HMIS o etanol tem risco para a saúde 2*, o que faz reduzir a pontuação deste princípio a 1. Para os outros princípios a pontuação é a mesma nos dois casos. Relativamente ao quinto e sexto princípios, a pontuação é 3, por não se utilizarem substâncias auxiliares e a experiência se realizar à temperatura ambiente. Quanto aos sétimo e décimo princípios a pontuação é 1, pois pelos menos um dos reagentes não é renovável, nem degradável. Em relação ao décimo segundo princípio a pontuação é 1, porque as substâncias utilizadas envolvem riscos de acidente (etanol F, inflamabilidade 3).

3.3.3. Exemplo 3: EV de uma experiência que não envolve uma reação de síntese e as EV obtidas pelos dois processos são iguais

Em seguida apresenta-se a construção da EV da atividade laboratorial AL 0.1, separar uma gordura de uma solução aquosa, proposta no programa do 10º ano de escolaridade [11]. Nesta atividade é proposta a separação da mistura hexano e água utilizando uma ampola de decantação. Como não se realiza nenhuma atividade de síntese, construiu-se uma EV simplificada.

A recolha de informação sobre todas as substâncias envolvidas, permitiu obter as Tabelas 3.13 e 3.14.

Tabela 3.13. Riscos e pontuações dos riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas considerando os símbolos na AL 0.1 do 10º Ano

Atividade 2 - Separar uma gordura de uma solução aquosa b) Mistura de hexano e água separada por decantação.	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Hexano	Xn, F, N	2	3	3
Resíduos				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Hexano	Xn, F, N	2	3	3

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 3.14. Riscos e pontuações dos riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas considerando os HMIS na AL 0.1 do 10º Ano (p = pontuação)

Substância envolvidas	HMIS			MSDS	Pontuações		
	Risco saúde	Inflamabilidade	Risco físico	Informação ecológica	P riscos saúde	P riscos ambiente	P riscos acidente
Reagentes							
Água ^{1,2}	0	0	0	Sem riscos	1	1	1
Hexano	2*	3	0	Risco para o ambiente	3	3	3
Resíduos							
Água ^{1,2}	0	0	0	Sem riscos	1	1	1
Hexano	2*	3	0	Risco para o ambiente	3	3	3

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

A avaliação do grau de verdura da experiência relativamente a cada um dos princípios relevantes permitiu construir a Tabela 3.15.

Tabela 3.15. Pontuações para construir as EV da AL 0.1 do 10º Ano (p = pontuação)

EV PRINCÍPIOS	EV com símbolos		EV com HMIS	
	P	Justificação	P	Justificação
P1 – Prevenção	1	Hexano (N)	1	Hexano (saúde 2*, risco para o ambiente)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Pelo menos uma substância não é renovável (hexano)	1	Pelo menos uma substância não é renovável (hexano)
P10 – Planificação para a degradação	1	O hexano não é degradável nem pode ser tratado para a sua degradação em produtos inócuos	1	O hexano não é degradável nem pode ser tratado para a sua degradação em produtos inócuos
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Hexano (F)	1	Hexano (saúde 2*, inflamabilidade 3)

Na Figura 3.6 apresenta-se a EV obtida, que é a mesma quer utilizando os símbolos quer utilizando os HMIS.

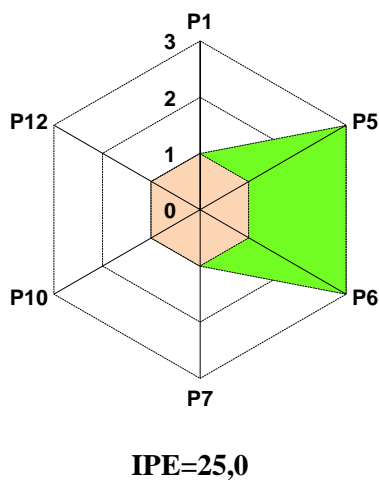


Figura 3.6. EV da AL 0.1 do 10º Ano

O quinto e o sexto princípio têm a pontuação 3, por não se utilizarem substâncias auxiliares e a experiência se realizar à temperatura ambiente. A pontuação dos primeiro, sétimo, décimo e décimo segundo princípios reduz-se a 1, porque o hexano apresenta riscos elevados para o ambiente, não é renovável, não é degradável e apresenta riscos elevados de acidente.

3.3.4. Comparação dos resultados

A comparação entre as EV construídas com base símbolos e nos HMIS de grande número das experiências, permitiu identificar vantagens e desvantagens dos dois métodos que se apresentam na Tabela 3.16.

Atendendo às vantagens e desvantagens apresentadas, e porque as EV obtidas pelos dois métodos são iguais em muitos casos, optou-se por utilizar as EV obtidas dos símbolos indicativos das frases de risco/segurança da rotulagem das embalagens.

Tabela 3.16. Comparação das EV construídas pelos dois métodos

EV	Vantagens	Desvantagens
Símbolos	<ul style="list-style-type: none">- Fácil recolha de dados/informações pelos alunos no contexto de sala de aula (as informações são apresentadas nos rótulos dos frascos dos compostos a que os alunos têm acesso).- Existência de um símbolo que indica riscos elevados para o ambiente.- Utilizam a norma europeia, estão disponíveis nos MSDS em língua portuguesa.	<ul style="list-style-type: none">- Não refletem muitas vezes os riscos crónicos das substâncias.- Nem sempre os símbolos refletem riscos elevados para o ambiente.- Por vezes os resultados não atendem ao facto de uma solução ser muito ou pouco concentrada.
HMS	<ul style="list-style-type: none">- Informações acerca riscos crónicos adicionais para as substâncias.	<ul style="list-style-type: none">- Não apresentam dados relativamente aos riscos para o ambiente, sendo necessário recolher esses dados, raramente disponíveis, nos MSDS.- Não disponíveis nos MSDS em língua portuguesa.

3.4. Discussão e conclusões

3.4.1. Dificuldades na construção

Durante a construção das EV foram encontradas as seguintes dificuldades:

- Degradabilidade das substâncias – é muito difícil encontrar informação sobre a degradação de uma substância e, para além disso, mesmo que a substância se degrade é necessário saber se as novas substâncias formadas são inócuas. Quando se analisam os MSDS apenas é referido o que se deve fazer para a sua eliminação, e na maioria dos casos é referido que se deve contactar um profissional para o efeito. Pelas razões apresentadas há dificuldades na pontuação do princípio 10.
- Divergências entre os MSDS disponíveis - verificou-se que, por vezes, as informações variam conforme a origem do MSDS. Para ultrapassar essa dificuldade, considerou-se o risco mais elevado referido nos MSDS acessíveis.
- Inexistência de MSDS em alguns casos - frequentemente utilizam-se soluções diluídas, mas por vezes os MSDS disponíveis referem-se apenas às substâncias puras, que podem apresentar um risco superior ao das soluções, reduzindo, eventualmente, a pontuação dos princípios em causa.

3.4.2. Limitações

As EV apresentam algumas limitações, tais como:

- não refletem o facto de uma atividade ser ou não realizada a microescala;
- não permitem distinguir uma experiência em que todas as substâncias são perigosas de uma outra em que apenas uma das substâncias envolve riscos; e
- não tem em conta a quantidade de resíduos formados, o que pode ser colmatado com a utilização concomitante de métricas de massa.

3.4.3. Conclusões

Verificou-se, pela utilização em diversas situações [3-6] que a EV constitui uma métrica útil na avaliação da veracidade de reações químicas, atendendo a que:

- É de construção fácil, embora nem sempre seja possível obter todas as informações requeridas, nomeadamente no que se refere à degradabilidade das substâncias.
- É sensível a variações da veracidade atómica da reação, nomeadamente quando se realizam as experiências em diferentes proporções estequiométricas
- Permite uma avaliação semi-quantitativa da veracidade por mera análise visual (sem prejuízo da utilização do valor numérico do IPE, expresso numa escala de 0 a 100).
- Permite detetar, por simples inspeção visual, quais os aspetos a otimizar para conseguir uma maior veracidade.
- Pode ser usada na avaliação prévia da veracidade de uma experiência a partir do respetivo protocolo, sem ser necessário realizá-la.
- É sensível aos diversos fatores que devem ser considerados quando se discute a veracidade de uma reação, pois atende aos Doze Princípios da QV de forma global e sistemática.

Em suma, a EV é uma métrica útil, de exequibilidade acessível, que os alunos podem utilizar para a otimização de reações químicas.

3.5. Bibliografia

1. P. T. Anastas, J. C. Warner; Green Chemistry – Theory and Practice, Oxford P., Oxford (1998).
2. A. A. S. C. Machado, “Química e Desenvolvimento Sustentável – QV, QUIVES, QUISUS”, Boletim S. P. Q. **95** (2004) 59-67.
3. M. G. T. C. Ribeiro, D. A. Costa, A. A. S. C. Machado, “Uma Métrica Gráfica para Avaliação Holística da Verdura de Reacções Laboratoriais – “Estrela Verde” ”, Química Nova **33** (2010) 759-764
4. M. G. T. C. Ribeiro, D. A. Costa, A. A. S. C. Machado, “Green Star”: a Holistic Green Chemistry Metric for Evaluation of Teaching Laboratory Experiments, Green Chem. Lett. and Rev. **3** (2010) 149-159
5. D. A. Costa, M. G. T. C. Ribeiro, A. A. S. C. Machado, Análise da Verdura das Actividades Laboratoriais do 10º ano do Ensino Secundário, Boletim S. P. Q. **115** (2009) 41-49.
6. D. A. Costa, M. G. T. C. Ribeiro, A. A. S. C. Machado, Análise da Verdura das Actividades Laboratoriais do 11º ano do Ensino Secundário, Boletim S. P. Q. aceite.
7. Web: <http://www.sigmaaldrich.com/portugal.html> (Sigma-Aldrich, acedido em Fevereiro 2011)
8. Web: <http://safety.science.tamu.edu/chemlabels.html> (acedido em Fevereiro 2011)
9. Web: <http://www.qca.ibilce.unesp.br/prevencao/hmis.html> (acedido em Fevereiro 2011)
10. Web: <http://safety.science.tamu.edu/hmis.html> (acedido em Fevereiro 2011)
11. Web: http://sitio.dgdc.min-edu.pt/secundario/paginas/programas_es_f.aspx (Direcção Geral de Inovação e Desenvolvimento Curricular, acedido em Junho 2011).

CAPÍTULO 4

AVALIAÇÃO DA VERDURA DAS EXPERIÊNCIAS PROPOSTAS NO CURRÍCULO DE QUÍMICA DO 10º E 11º ANOS DO ENSINO SECUNDÁRIO

4.1. Objetivos

Neste capítulo apresenta-se uma análise das atividades laboratoriais propostas nos programas atuais (2010) de Física e Química do 10º e 11º anos do Ensino Secundário [1]. Para cada atividade laboratorial apresentam-se os objetivos propostos no programa, uma breve descrição da atividade e EV construídas conforme foi descrito no capítulo 3. Com base nas EV é analisada a verdura de cada uma das atividades laboratoriais, tendo em conta os seguintes aspetos:

- grau de verdura relativamente a cada um dos princípios; e
- grau de verdura relativamente ao conjunto dos princípios (área verde das estrelas).

Para além disso a verdura das atividades laboratoriais é também avaliada utilizando a métrica Círculo Verde (CV), que se apresenta neste capítulo.

Em face dos resultados das análises, aponta-se a necessidade de introduzir melhorias para algumas das atividades laboratoriais no sentido de aumentar a sua verdura. Não se concretizam propostas, porque se sente que as mudanças devem ser concretizadas no contexto de uma renovação global do programa.

4.2. Atividades laboratoriais do 10º Ano avaliadas utilizando a EV

As atividades laboratoriais avaliadas [2], que correspondem à totalidade das atividades propostas no programa em vigor do 10º ano do Ensino Secundário, são apresentadas no Quadro 4.1.

Procedeu-se a um levantamento de todas as substâncias envolvidas nas atividades e recolheu-se informação acerca dos riscos para a saúde e para o ambiente, inflamabilidade, reatividade, etc.. A partir das informações obtidas, para cada atividade e para cada substância envolvida na mesma, foram atribuídas pontuações numa escala de 1 (benignidade máxima) a 3, seguindo os critérios que foram definidos no capítulo 3.2.1. Na Tabela 4.1 apresenta-se os resultados desta atribuição.

Quadro 4.1. Atividades laboratoriais avaliadas do 10º Ano [1]

AL 0.1. – SEPARAR E PURIFICAR (UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SEPARAÇÃO DE MISTURAS)

Separar os componentes de uma mistura por decantação, da filtração e destilação simples e fracionada.

Atividade 1 – Separar os componentes de uma mistura de água, sal e solo

Separação efetuada através de uma decantação, seguida de filtração e destilação simples.

Atividade 2 – Separar uma gordura de uma solução aquosa

a) Mistura de óleo ou azeite e água separada por decantação.

b) Mistura de hexano e água separada por decantação.

Atividade 3 - Dessalinizar água do mar ou água salgada

A água do mar ou água salgada é dessalinizada por destilação simples.

Atividade 4 - Separar dois líquidos miscíveis

Uma mistura de água e acetona é separada por uma destilação fracionada.

AL 1.1 - MEDIÇÃO EM QUÍMICA

Efetuem-se medições de volume, massa e temperatura.

AL 1.2 – ANÁLISE ELEMENTAR POR VIA SECA

Procede-se à queima de diversos sais e observa-se para cada amostra a cor conferida à chama e o tipo espectro, concluindo-se sobre o catião presente em cada amostra.

Atividade 1 – Análise do cloreto de sódio

Atividade 2 – Análise do cloreto de bário

Atividade 3 – Análise do cloreto de cálcio

Atividade 4 – Análise do cloreto de potássio

Atividade 5 – Análise do cloreto de cobre(I)

Atividade 6 – Análise do cloreto de cobre(II)

Atividade 7 – Análise do cloreto de lítio

Atividade 8 – Análise do cloreto de estrôncio

AL 1.3 - IDENTIFICAÇÃO DE UMA SUBSTÂNCIA E AVALIAÇÃO DA SUA PUREZA

Atividade 1– Determinação da densidade e da densidade relativa de um sólido

São utilizados cubos/ esferas/ lâminas de cobre, chumbo, alumínio, latão.

Atividade 2 – Determinação da densidade e da densidade relativa de um líquido

São utilizados dois líquidos: a) água; b) etanol.

Atividade 3 – Determinação do ponto de ebulição de um líquido

São utilizados dois líquidos: a) água; b) etanol.

Atividade 4 – Determinação do ponto de fusão de um sólido

São utilizadas as seguintes substâncias: a) enxofre (substância auxiliar utilizada – parafina; b) naftaleno (substância auxiliar utilizada – água); c) ácido salicílico (utiliza-se equipamento automático).

AL 2.1 – SOLUÇÕES E COLOIDES

Atividade 1- Preparação de soluções

Preparam-se soluções aquosas de tiosulfato de sódio.

Atividade 2 - Preparação de coloides

Prepara-se um gel: a) por adição de uma solução saturada de acetato de cálcio a etanol absoluto; b) através da reação entre ácido clorídrico (concentrado) e solução diluída de tiosulfato de sódio.

Tabela 4.1. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente das substâncias envolvidas no 10º Ano

Reagentes	Atividades	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Acetato de cálcio	AL2.1 (2a)	-	1	1	1
Acetona	AL01 (4)	Xi, F	2	1	3
Ácido clorídrico	AL2.1(2a)	C	3	1	3
Ácido salicílico	AL1.3 (4c)	Xn	2	1	2
Dióxido de enxofre	AL2.1 (2b)	T, C	3	1	3
Água ^{1,2}	AL01 (1, 2a, 2b, 3, 4), AL1.3(1, 2a, 2b, 3a, 4b), AL2.1 (1, 2a, 2b)	-	1	1	1
Azeite ^{1,2}	AL01 (2a),	-	1	1	1
Cloreto de bário	AL12 (2)	T	3	1	3
Cloreto de cálcio ²	AL12 (3)	Xi	2	1	2
Cloreto de cobre (I)	AL12 (6)	Xn, N	2	3	2
Cloreto de cobre (II)	AL12 (5)	Xn, N	2	3	2
Cloreto de estrôncio	AL12 (8)	Xi	2	1	2
Cloreto de lítio	AL12 (7)	Xn	2	1	2
Cloreto de potássio	AL12 (4)	-	1	1	1
Cloreto de sódio ^{1,2}	AL01 (1, 3), AL12 (1)	-	1	1	1
Enxofre	AL1.3 (4a)	F	1	1	3
Etanol	AL1.3 (2b, 3b), AL2.1 (2a)	F	1	1	3
Hexano	AL01 (2b)	Xn, F, N	2	3	3
Naftaleno	AL1.3 (4b)	Xn, N	2	3	2
Óleo de cozinha ^{1,2}	AL01 (2a)	-	1	1	1
Parafina	AL1.3 (4a)	-	1	1	1
Solo ^{1,2}	AL01 (1)	-	1	1	1
Tiosulfato de sódio pentaidratado	AL2.1(1, 2b)	-	1	1	1

¹ Renováveis² Degradáveis com produtos de degradação inócuos

Para cada uma das atividades foram construídas tabelas onde se indicam as pontuações para construir as EV, seguindo os critérios definidos capítulo 3, ponto 3.2.1. (anexo II).

Em seguida, apresentam-se os resultados para cada uma das atividades, conforme descrito em 4.1.

4.2.1. AL 0.1 - Separar e purificar (utilizar as técnicas de separação das misturas)

Objetivos

Os objetivos propostos no programa para a atividade são [1]:

- Aplicar as técnicas e os princípios subjacentes da decantação, da filtração e da destilação (simples e fracionada) à separação de misturas.
- Relacionar a técnica com o princípio subjacente.
- Interpretar o(s) princípio(s) em que se fundamenta cada técnica.
- Selecionar o tipo de filtração a utilizar num caso específico.
- Selecionar o meio filtrante (papel e placas filtrantes) mais adequado a uma determinada filtração.

- Selecionar o tipo de destilação (simples ou fracionada) adequado a uma determinada separação.
- Executar as técnicas de decantação, de filtração e de destilação, de acordo com as regras de segurança.
- Aplicar outras técnicas adequadas à separação de misturas.
- Aperceber-se de limitações das técnicas, enquanto processos de separação de componentes de uma mistura.

Descrição

Nesta AL estão envolvidas 4 atividades que se apresentam em seguida.

Atividade 1 – Separar os componentes de uma mistura de água, sal e solo

Nesta atividade é proposta a separação da mistura de água, sal e solo através de uma decantação, seguida de filtração e destilação simples.

Atividade 2 – Separar uma gordura de uma solução aquosa

Nesta atividade é proposta a separação da mistura óleo ou azeite ou hexano e água, esta mistura é separada utilizando uma ampola de decantação.

Atividade 3 – Dessalinizar água do mar ou água salgada

Nesta atividade é proposta a dessalinização da água do mar ou de uma água salgada, através de uma destilação simples.

Atividade 4 – Separar dois líquidos miscíveis

Nesta atividade é proposta a separação da mistura água e acetona através de uma destilação fracionada.

Componentes e pontuações para construir as EV

As informações acerca dos riscos, inflamabilidade e reatividade para as substâncias envolvidas e as pontuações para construir as EV são apresentadas nas Tabelas 1-5 e 6, respetivamente, do anexo II.

Resultados

Na Figura 4.1 apresentam-se as EV e os respetivos IPE para cada uma das atividades avaliadas.

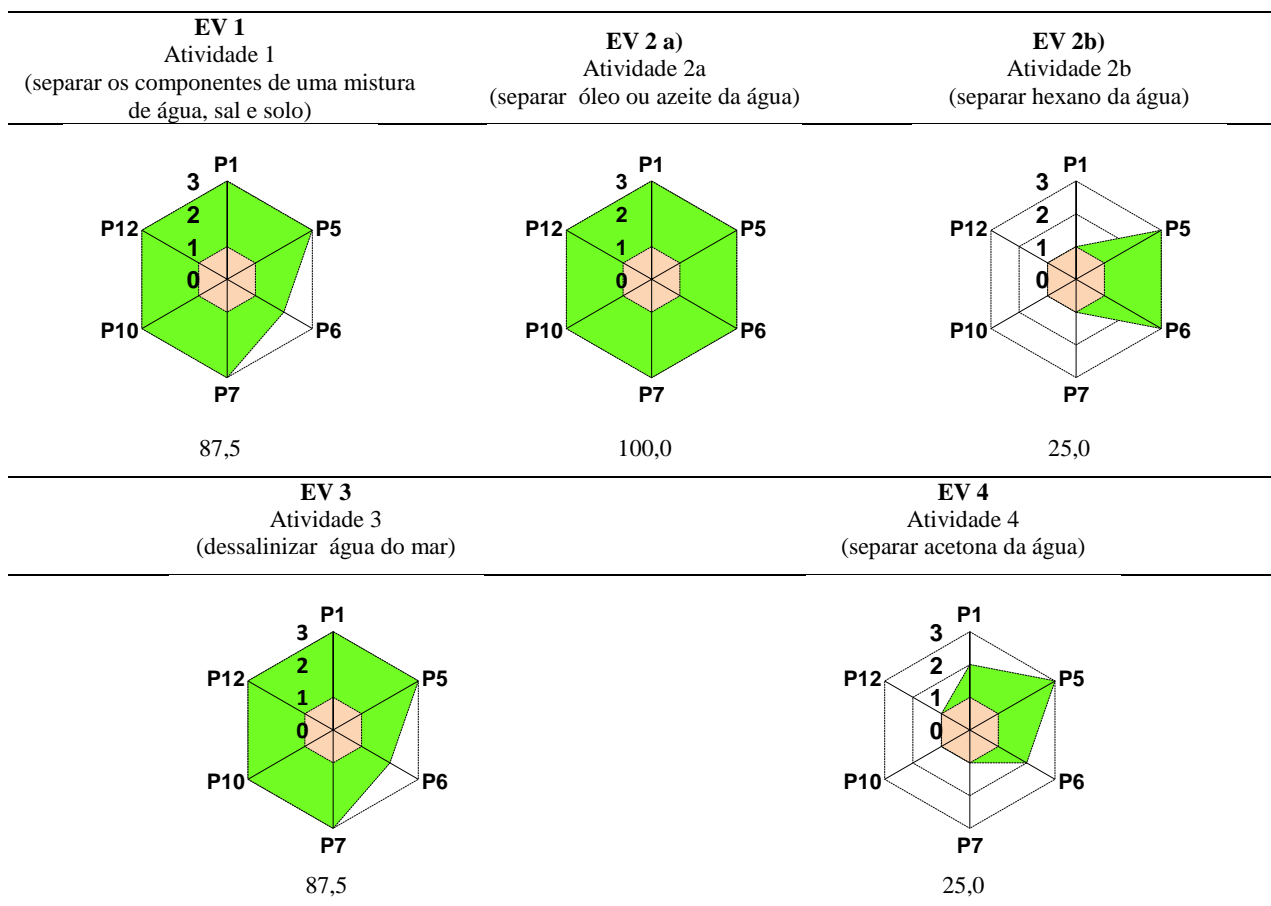


Figura 4.1. EV da AL 0.1 do 10º Ano (os números por baixo das EV são os respectivos IPE)

Análise das EV

As diversas EV para este grupo mostram que, para todas as atividades, o quinto princípio tem a pontuação 3, por não se utilizarem substâncias auxiliares.

Para a atividade 2a, “separação do óleo ou do azeite da água” (EV 2a), a EV apresenta uma área verde máxima, pois a pontuação para todos os princípios é 3.

Por mera comparação visual verifica-se que a EV apresenta uma área próxima da máxima para as atividades 1 e 3, “separar os componentes de uma mistura de água, sal e solo” (EV 1), e “dessalinizar a água do mar ou água salgada” (EV 3), respetivamente. Nestas atividades as substâncias usadas são renováveis e degradáveis, logo a pontuação dos sétimo e décimo princípios é máxima. Por outro lado, os riscos para a saúde e ambiente e os riscos de acidente químico são baixos devido à benignidade das substâncias, logo a pontuação dos primeiro e décimo segundo princípios é também máxima. Para o sexto princípio, a pontuação é 2, pois realiza-se uma destilação e as experiências decorrem a uma temperatura superior à temperatura ambiente.

Para as atividades 2b e 4, “separar hexano da água” (EV 2b), e “separar água da acetona” (EV 4), respetivamente, a área da EV é muito reduzida. Na primeira atividade, a

utilização do hexano (Xn, F, N) reduz a pontuação dos primeiro, sétimo, décimo e décimo segundo princípios a 1, porque se trata de uma substância que apresenta riscos elevados para o ambiente, não é renovável, não é degradável e apresenta riscos elevados de acidente. Por outro lado, a utilização da acetona (Xi, F) na atividade 4 reduz também a pontuação dos sétimo, décimo e décimo segundo princípios a 1, pois é uma substância não renovável, não degradável e apresenta riscos elevados de acidente. A pontuação do primeiro princípio é 2, pois a acetona apresenta risco moderado para a saúde. Como a atividade 2b é realizada à temperatura ambiente, a pontuação do sexto princípio é máxima, mas para a atividade 4 essa pontuação é reduzida para 2, pois esta envolve uma destilação.

Propostas para aumentar a verdura

Na atividade 2b seria aconselhável não utilizar o hexano, pois o óleo ou o azeite permitem atingir os objetivos propostos para a atividade e não envolvem riscos tão elevados. Na atividade 4 seria de substituir a acetona pelo etanol.

É de referir que o programa, na lista de material necessário para as atividades, indica equipamento para cromatografia de papel ascendente, não sendo no entanto, propostas quaisquer atividades deste tipo. Seria de considerar experiências que incluíssem esta técnica, tendo em atenção o grau de verdura das experiências propostas, ou seja dever-se-ia selecionar uma experiência em que as substâncias envolvidas não apresentassem riscos elevados para a saúde, ambiente e de acidente.

4.2.2. AL 1.1 - Medição em Química

Nesta atividade não foi construída a estrela de verdura, pois apenas se efetuam medições.

4.2.3. AL 1.2 – Análise elementar por via seca

Objetivos

Os objetivos propostos pelo programa para a atividade são [1]:

- Análise de amostras de sais não identificadas, com vista a determinar elementos químicos nelas presentes (ver lista de sais propostos).
- Observação de espectros atômicos diversos, obtidos a partir de espectros de chama.

Descrição

Nesta atividade é proposta a queima de diversos sais e observação para cada amostra, da cor conferida à chama e o tipo de espectro, identificando-se assim o cátion presente em cada amostra.

Como cada substância envolve riscos diferentes para a saúde e para o ambiente, de inflamabilidade, de reatividade etc., optou-se por analisar cada atividade em separado.

Atividade 1 - Análise do cloreto de sódio

Atividade 2 - Análise do cloreto de bário

Atividade 3 - Análise do cloreto de cálcio

Atividade 4 - Análise do cloreto de potássio

Atividade 5 - Análise do cloreto de cobre(I)

Atividade 6 - Análise do cloreto de cobre(II)

Atividade 7 - Análise do cloreto de lítio

Atividade 8 - Análise do cloreto de estrôncio

Componentes e pontuações para construir as EV

As informações recolhidas para construir as EV são apresentadas nas Tabelas 7 e 8-9, respetivamente, do anexo II.

Resultados

Nas Figuras 4.2 e 4.3 apresentam-se as EV para cada uma das atividades avaliadas.

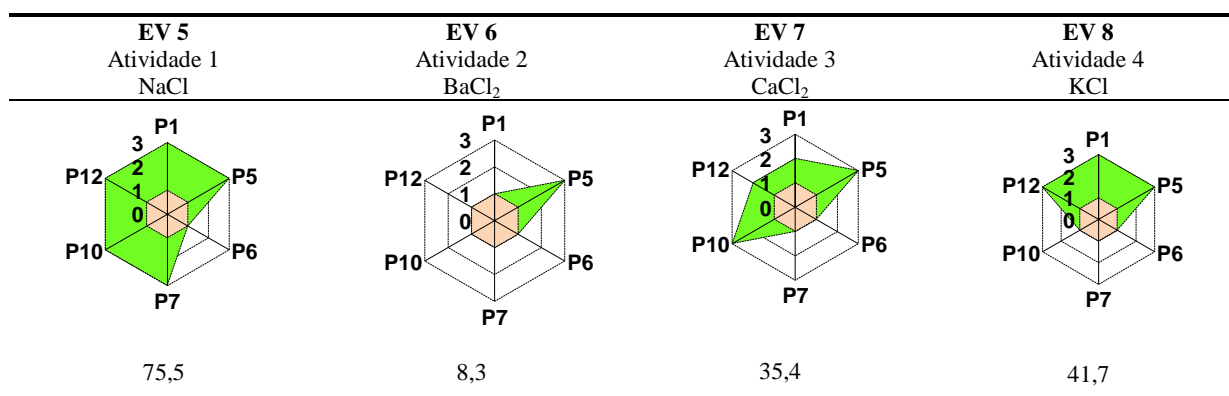


Figura 4.2. EV da AL 1.2 (atividade 1 – 4) do 10º Ano (os números por baixo das EV são os respetivos IPE)

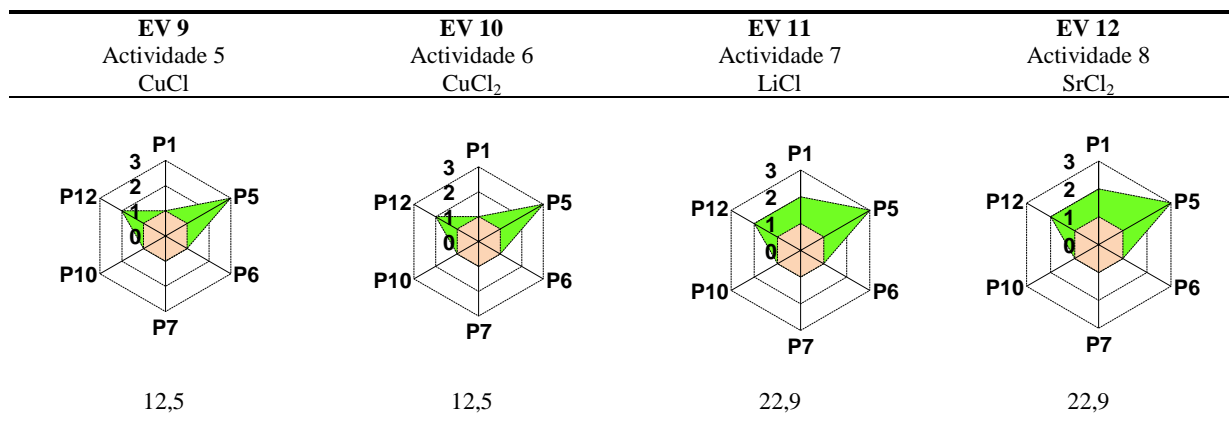


Figura 4.3. EV da AL 1.2 (atividade 5-8) do 10º Ano (os números por baixo das EV são os respetivos IPE)

Análise das EV

As diversas EV para este grupo mostram que para todas as atividades, o sexto princípio tem a pontuação 1 e o quinto 3, pois as experiências decorrem a uma temperatura muito afastada do ambiente e não se utilizam substâncias auxiliares, respetivamente.

No que se refere ao sétimo e décimo princípios, a pontuação é sempre 1, exceto para as atividades 1 e 3, pois o cloreto de sódio é considerado renovável e degradável, e o cloreto de cálcio degradável. A pontuação para o primeiro e décimo segundo princípios dependem, respetivamente, da benignidade e do risco de acidente químico apresentado pelas diversas substâncias usadas.

A EV apresenta uma área verde elevada para a atividade 1, “análise do cloreto de sódio” (EV 5), atendendo à benignidade e baixo risco de acidente químico apresentado por este composto, o que implica uma pontuação de 3 para o primeiro e o décimo segundo princípios. Para a atividade 4, “análise do cloreto de potássio” (EV 8), a EV apresenta uma área verde mais reduzida. Embora a benignidade e baixo risco de acidente químico apresentado pelas substâncias usadas impliquem também uma pontuação de 3 para o primeiro e décimo segundo princípios, a pontuação mínima para os sétimo e décimo princípios, pois as substâncias não são renováveis nem degradáveis, provoca neste caso uma diminuição da área da EV.

Para as atividades 3, 7 e 8, “análise do cloreto de cálcio” (EV 7), “análise do cloreto de lítio” (EV 11) e “análise do cloreto de estrôncio” (EV 12), as EV apresentam uma área ainda mais reduzida. O cloreto de cálcio (Xi), o cloreto de lítio (Xn) e o cloreto de estrôncio (Xi) apresentam riscos moderados para a saúde e de acidente químico, o que reduz a pontuação do primeiro e do décimo segundo princípios para 2. Para a atividade 3, como o cloreto de cálcio é uma substância degradável com produtos de degradação inócuos, a pontuação do décimo

princípio é de 3 e a área da EV não se reduz tanto como para as atividades 7 e 8, em que os cloretos de lítio e estrôncio envolvidos não são degradáveis, porque são sais metálicos.

Para as atividades 5 e 6, “análise do cloreto de cobre(I)” (EV 9) e “análise do cloreto de cobre(II)” (EV 10), as áreas das EV são muito reduzidas. Nestas atividades os riscos para a saúde e de acidente químico são também moderados, mas o risco para o ambiente do cloreto de cobre (Xn, N) é elevado e a área verde reduz-se mais, pois a pontuação do primeiro princípio é 1.

Para a atividade 2, “análise do cloreto de bário” (EV 2), a área da EV reduz-se ainda mais, pois os riscos para a saúde e de acidente químico do cloreto de bário (T) são elevados, o que leva à redução da pontuação do primeiro e décimo segundo princípios para 1.

Propostas para aumentar a verdura

O programa sugere um conjunto de substâncias para os alunos analisarem, utilizando o teste da chama, e observarem os respetivos espectros utilizando o espectroscópio de bolso. As substâncias sugeridas pelo programa são cloretos de: sódio, bário, cálcio, potássio, cobre(II), cobre(I), lítio e estrôncio.

Atendendo às EV, seria talvez recomendável não utilizar algumas das substâncias propostas, pois elas envolvem riscos elevados para a saúde e para o ambiente. Deste modo seria aconselhável não utilizar o cloreto de bário em experiências feitas por alunos, atendendo à sua toxicidade (T), nem os cloretos de cobre(I) e (II), atendendo aos riscos que apresentam para o ambiente (N)

Em conclusão, os alunos deveriam apenas utilizar o cloreto de sódio e o cloreto de estrôncio que são inócuos e, eventualmente, o cloreto de cálcio e o cloreto de potássio embora apresentem alguns riscos, pois são irritantes. É de salientar o facto de os alunos ao executarem a atividade com apenas quatro substâncias não coloca em causa os objetivos da atividade, pois podem de igual forma efetuar a análise qualitativa e a análise espectral das substâncias. Em relação aos outros compostos, podem eventualmente ser utilizados pelo professor como demonstração.

4.2.4. AL 1.3 - Identificação de uma substância e avaliação da sua pureza

Objetivos

Os objetivos propostos no programa para a atividade são [1]:

- Determinar experimentalmente a densidade de alguns materiais usando métodos diferentes.

- Comparar os valores de densidade obtidos experimentalmente para sólidos e líquidos com os valores tabelados, com vista a concluir sobre a pureza dos materiais em estudo.
- Determinar experimentalmente os pontos de ebulição e de fusão de materiais diversos por métodos diferentes.
- Comparar os valores obtidos, para o mesmo material, com métodos diferentes.
- Comparar os valores da temperatura de ebulição de líquidos e/ou de fusão de sólidos com valores tabelados e avaliar a pureza dos materiais em estudo.
- Interpretar representações gráficas de dados experimentais de variação da temperatura em função do tempo.

Descrição

Nesta AL estão envolvidas 4 atividades que se apresentam de seguida.

Atividade 1 – Determinação da densidade e da densidade relativa de um sólido (cobre, chumbo, alumínio, latão, etc.)

Nesta atividade é proposta a determinação da densidade de objetos sólidos (são utilizados cubos/esferas destes materiais que existem no laboratório para este fim) usando os métodos do picnómetro e da determinação indireta (medição da massa e do volume).

Atividade 2 – Determinação da densidade e da densidade relativa de um líquido (água, etanol, etc.)

Nesta atividade é proposta a determinação da densidade de dois líquidos (água ou etanol) usando o método do picnómetro e do densímetro.

Atividade 3 – Determinação do ponto de ebulição de um líquido (por exemplo, água, etanol...)

Nesta atividade é proposta a determinação do ponto de ebulição de dois líquidos (água e etanol) usando equipamento automático e equipamento de aquisição e tratamento de dados (SATD).

Atividade 4 – Determinação do ponto de fusão de um sólido (por exemplo, enxofre, naftaleno, ácido salicílico...)

Nesta atividade é proposta a determinação do ponto de fusão de um dos sólidos propostos usando equipamento tradicional e equipamento automático, de uma das seguintes substâncias:

- a) enxofre (substância auxiliar utilizada – parafina);
- b) naftaleno (substância auxiliar utilizada – água, pois o ponto de fusão do naftaleno é menor que o ponto de ebulição da água);
- c) ácido salicílico (utiliza-se equipamento automático, pois o ponto de fusão do naftaleno é maior que o ponto de ebulição da água).

Componentes e pontuações para construir as EV

As informações coligidas para construir as EV são apresentadas nas Tabelas 10-13 e 14-15, respetivamente, do anexo II.

Resultados:

Na Figura 4.4 apresentam-se as EV para cada uma das atividades avaliadas.

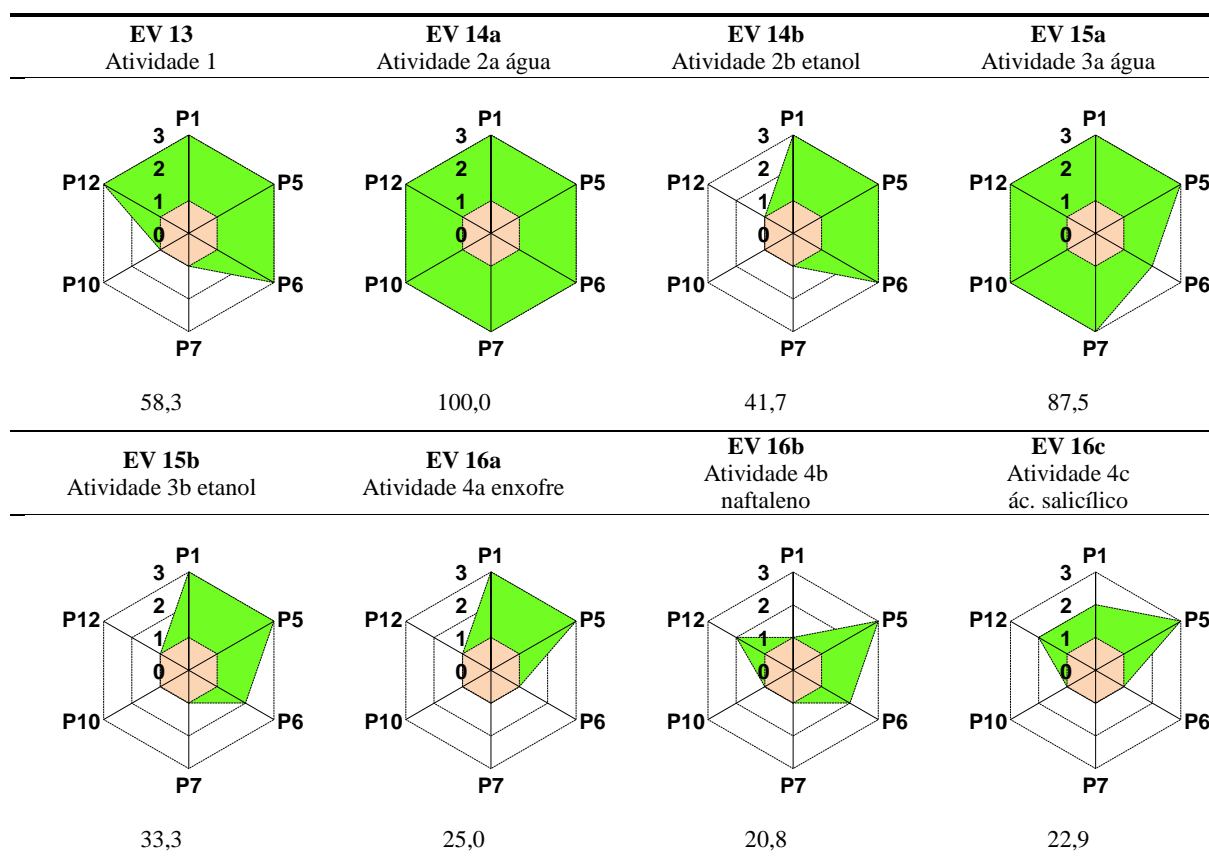


Figura 4.4. EV da AL 1.3 do 10º Ano (os números por baixo das EV são os respetivos IPE)

Análise das EV

As diversas EV para este grupo mostram que, para todas as atividades, o quinto princípio tem a pontuação 3, por não se utilizarem substâncias auxiliares ou, quando usadas, serem inócuas. Para as atividades 1 e 2, em que se determinam densidades, as experiências são realizadas à pressão e temperatura ambientes e a pontuação para o sexto princípio é 3. Para as atividades 3 e 4, em que se determinam pontos de ebulição e de fusão, as experiências são realizadas a temperatura superior à temperatura ambiente e a pontuação para o sexto princípio é 2 se a temperatura não exceder 100°C (atividade 3 e 4b) e 1 se exceder (atividades 4a e 4c). A pontuação dos sétimo e décimo princípios reduz-se a 1 para todas as atividades, exceto as 2a e 3a, em que a única substância envolvida é a água, porque as substâncias

envolvidas não são renováveis nem degradáveis. As pontuações para o primeiro e décimo segundo princípios dependem, respetivamente, da benignidade e do risco de acidente químico apresentado pelas diversas substâncias usadas.

Por mera comparação visual verifica-se que a EV apresenta uma área máxima para a atividade 2a, “determinação da densidade da água” (EV 14a), em que a pontuação é de 3 para todos os princípios, já que a única substância usada é a água. Para a atividade 3a, “determinação do ponto de ebulição da água” (EV 15a), a EV apresenta uma área mais reduzida, pois a pontuação do sexto princípio é reduzida para 2 (experiência a temperatura superior à ambiente). Para a atividade 1, “determinação da densidade e da densidade relativa de um sólido” (EV 13), a EV apresenta uma área ainda mais reduzida que a anterior. Em todas estas experiências são usados sólidos, com a forma de cubos/esferas, constituídos por metais (cobre, chumbo, alumínio e latão) que são reutilizados, não dando origem a resíduos, pelo que não se consideram riscos para a saúde ou para o ambiente, nem riscos de acidente químico, logo a pontuação dos primeiro e décimo segundo princípios é 3. Como a atividade se realiza à temperatura ambiente, a pontuação do sexto princípio é 3. Para o sétimo e décimo princípios a pontuação é reduzida a 1, pois os metais que constituem os sólidos não são renováveis nem degradáveis. Embora estes metais não sejam consumidos durante as experiências, considera-se que foram produzidos e eventualmente serão depositados no ambiente.

Para as atividades 2b, 3b e 4a, “determinação da densidade do etanol” (EV 14b), “determinação do ponto de ebulição do etanol” (EV 15b), e “determinação do ponto de fusão do enxofre” (EV 16a), respetivamente, a área da EV é algo mais reduzida do que nos casos anteriores. Em todos os casos, para o primeiro princípio a pontuação é 3, atendendo à benignidade do etanol e do enxofre, mas a pontuação do décimo segundo princípio é reduzida para 1, pois tanto o etanol como o enxofre são inflamáveis. Para a atividade 4c, “determinação do ponto de fusão do ácido salicílico” (EV 16c), a EV apresenta uma área também reduzida. Para os primeiro e décimo segundo princípios a pontuação é reduzida a 2, pois o ácido salicílico (Xn) envolve riscos moderados para a saúde e de acidente químico. Para a atividade 4b, “determinação do ponto de fusão do naftaleno” (EV 16b), a EV apresenta uma área muito baixa, porque a pontuação é reduzida a 1 para o primeiro princípio e a 2 para o décimo segundo princípio, pois o naftaleno (Xn, N) apresenta risco elevado para o ambiente e risco moderado de acidente químico.

Propostas para aumentar a verdura

Relativamente a atividade 4 pode-se concluir que, das sugestões de compostos propostos pelo programa, se deveria realizar apenas a atividade em que se utiliza o enxofre, pois a estrela de verdura do enxofre apresenta uma maior área verde, em relação às outras estrelas de verdura e os objetivos propostos não seriam afetados.

A determinação destas propriedades físicas podia ser efetuada depois de os alunos realizarem uma síntese, em que eles iriam verificar a identidade e o grau de pureza dos produtos que obtiveram, tornando-se assim, a atividade muito mais interessante.

4.2.5. AL 2.1 – Soluções e coloides

Objetivos

Os objetivos propostos no programa para esta atividade são [1]:

- Selecionar material adequado à preparação de uma solução (por exemplo pipetas e balões de diluição).
- Explicitar as etapas e procedimento necessários à preparação de uma solução tanto a partir de um soluto sólido como por diluição de outra solução.
- Preparar soluções de concentração conhecida.
- Atribuir significado adequado ao termo "fator de diluição", em termos de razão entre o volume final da solução diluída e o volume inicial da solução de partida.
- Preparar coloides.
- Distinguir coloides de diferentes tipos com base nos estados físicos do disperso e dispersante;
- Criar situações em que se observem suspensões.
- Interpretar o comportamento de soluções, de coloides e de suspensões face à incidência de luz branca.

Descrição

Nesta AL estão envolvidas 2 atividades que se apresentam de seguida.

Atividade 1 – Preparação de soluções

Nesta atividade é proposto que se preparem soluções aquosas de tiosulfato de sódio.

Atividade 2 – Preparação de coloides

Nesta atividade é proposto que se prepare um gel:

- a) por adição de uma solução saturada de acetato de cálcio a etanol absoluto;

b) através da reação entre ácido clorídrico (concentrado) e solução diluída de tiosulfato de sódio.

Componentes e pontuações para construir as EV

As informações recolhidas para construir as EV são apresentadas nas Tabelas 16-18 e 19, respetivamente, do anexo II.

Resultados

Na Figura 4.5 apresentam-se as EV para cada uma das atividades avaliadas.

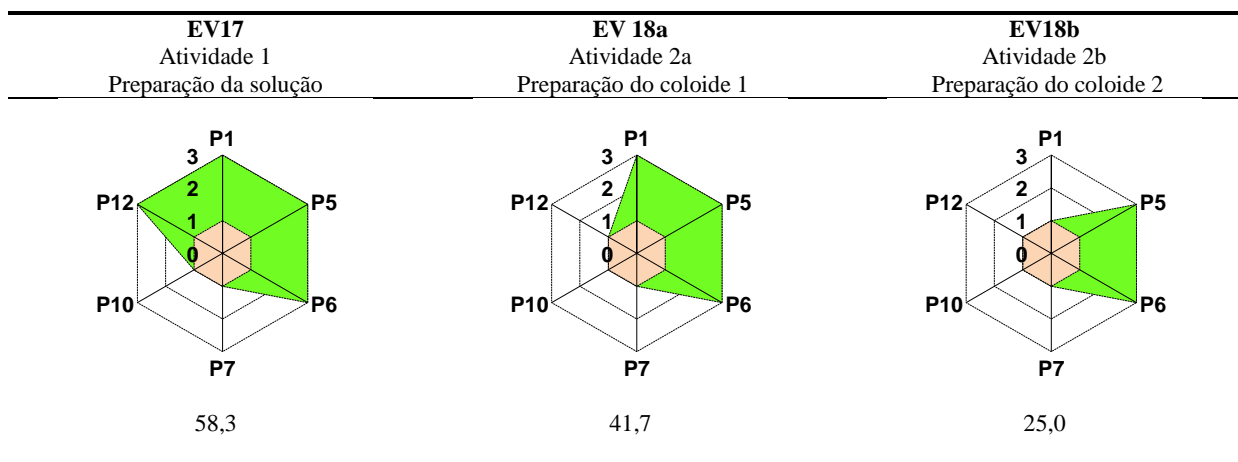


Figura 4.5. EV da AL 2.1 do 10º Ano (os números por baixo das EV são os respetivos IPE)

Análise das EV

As diversas EV para este grupo mostram que, para todos os casos, o quinto e o sexto princípio têm a pontuação 3, por não se utilizarem substâncias auxiliares e as experiências se realizarem à temperatura ambiente. Por outro lado, a pontuação para o sétimo e décimo princípios reduz-se sempre a 1, pois as substâncias utilizadas não são renováveis, nem degradáveis com produtos de degradação inócuos.

Por mera comparação visual verifica-se que a EV para a atividade 1, “preparação da solução de tiosulfato de sódio” (EV17), apresenta uma área verde superior. A pontuação é de 3 para o primeiro e décimo segundo princípios, atendendo à benignidade dos materiais usados (água e tiosulfato de sódio). Para a atividade 2a, “preparação do coloide 1” (EV18a), a EV apresenta uma área mais baixa. A pontuação é reduzida a 1 para o décimo segundo princípio, pois o etanol é inflamável. Na atividade 2b, “preparação do coloide 2” (EV2b), a área da EV é ainda mais baixa. A pontuação é reduzida a 1 para o primeiro e para o décimo segundo princípios, pois as substâncias envolvidas, ácido clorídrico (C) e dióxido de enxofre (T, C),

apresentam riscos elevados para a saúde e de acidente químico. Seria aconselhável a substituição destes compostos por reagentes mais benignos.

Propostas para aumentar a verdura

Procurar alternativas de preparação de um gel que não produzam nenhuma substância tóxica nomeadamente ácido sulfuroso.

4.2.6. Discussão dos resultados

No gráfico da Figura 4.6 resumem-se os resultados obtidos na análise anterior mediante uma distribuição da frequência das experiências em função do respetivo IPE. O gráfico mostra que dois terços (16 em 24) das atividades laboratoriais apresentaram uma verdura baixa (IPE<50), o que aponta para a necessidade de sua revisão.

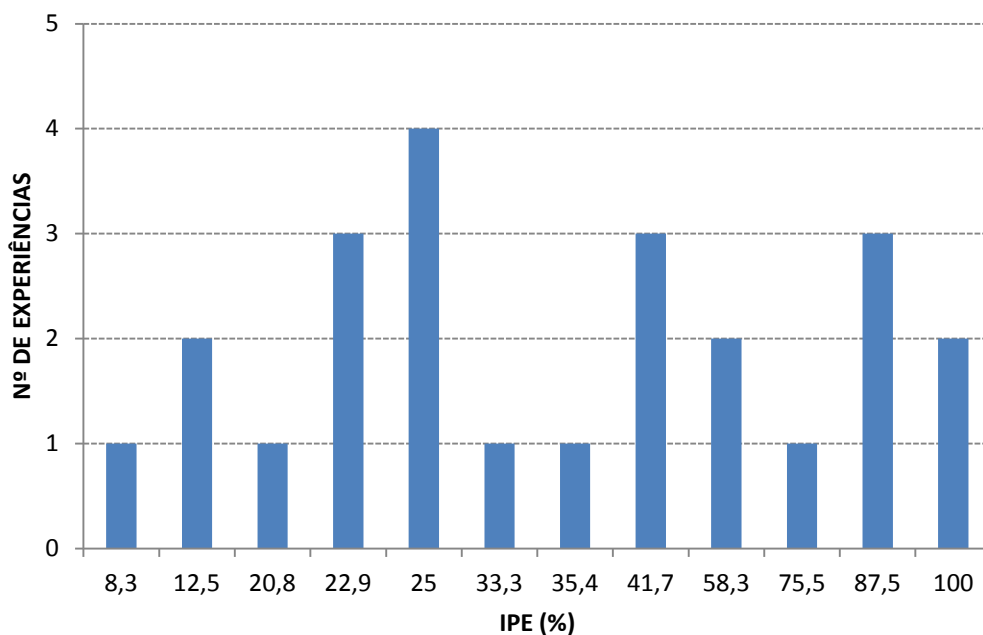


Figura 4.6. Frequência das experiências do 10º Ano, em função do IPE

4.3. Atividades laboratoriais avaliadas do 11º Ano utilizando a EV

As atividades laboratoriais avaliadas [3] que correspondem à totalidade das atividades propostas no programa em vigor do 11º ano do Ensino Secundário são apresentadas nos Quadros 4.2 e 4.3.

Procedeu-se da mesma forma que no caso anterior.

Quadro 4.2. Atividades laboratoriais avaliadas, da unidade “Química e Indústria: Equilíbrios e Desequilíbrios” do 11º Ano [1]

AL 1.1 - Amoníaco e compostos de amónio em materiais de uso comum

Identifica-se a presença de amoníaco e compostos de amónio através de testes químicos específicos.

Teste A – Identificação pela formação de cloreto de amónio sólido na reação com cloreto de hidrogénio.

Teste B – Identificação pelo carácter alcalino de uma solução de amoníaco em água.

Teste C – Identificação por reação com o reagente de Nessler.

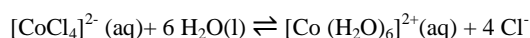
Teste D – Identificação pela formação do ião complexo tetraaminocobre(II), de cor azul intensa.

AL 1.2 – Síntese do sulfato de tetraaminacobre(II) monoidratado

Procede-se à síntese de sulfato de tetraaminacobre(II) monoidratado a partir da reação química entre soluções aquosas de amoníaco e de sulfato de cobre pentaidratado, usando etanol como solvente.

AL 1.3 – Efeitos da temperatura e da concentração na progressão global de uma reação

Estuda-se o efeito da variação da temperatura e da concentração no equilíbrio homogéneo:



Atividade 1 – Efeito da variação da temperatura

Aquecimento em banho de água e arrefecimento em banho de gelo.

Atividade 2 – Efeito da variação da concentração

- a) Adição de água.
- b) Adição de ácido clorídrico concentrado.
- c) Adição de cloreto de cobalto(II) hexaidratado.

Quadro 4.3. Atividades laboratoriais avaliadas, da unidade “Da Atmosfera ao Oceano: Soluções na Terra e para a Terra” do 11º Ano [1]

AL 2.1 – Ácido ou base: uma classificação de alguns materiais

Atividade 1 – Classificação de águas e de outras soluções aquosas em ácidas, neutras ou alcalinas

Procede-se à classificação de águas e de outras soluções aquosas em ácidas, neutras ou alcalinas utilizando processos de avaliação qualitativa com recurso a indicadores (em solução ou impregnados em papel):

- a) fenolftaleína; b) azul de bromofenol; c) tornesol; d) carmim de índigo; e) indicador universal; f) alaranjado de metilo; e g) vermelho de metilo.

Atividade 2 – Medição do pH de uma solução

Procede-se à leitura do valor de pH utilizando um medidor de pH eletrónico ou um sensor.

Atividade 3 – Apreciação do efeito da temperatura no pH de uma solução

Procede-se à leitura do valor de pH, utilizando um medidor de pH eletrónico ou um sensor, às temperaturas ambiente e de 60°C.

AL 2.2 – Chuva “normal” e chuva ácida

Atividade 1 – Verificar a variação do pH da água quando se faz borbulhar CO₂ ou SO₂

- a) Produção de CO₂ (através da reação entre ácido clorídrico e carbonato de cálcio).
b) Produção de SO₂ (através da reação entre sulfito de sódio e ácido sulfúrico).

Atividade 2 – Força relativa de ácidos e concentração das soluções respetivas

- a) Procede-se à adição de vários volumes de um ácido forte a vários tipos de água e mede-se o respetivo pH:
i) ácido clorídrico; e ii) ácido nítrico.
b) Procede-se à adição de vários volumes de um ácido fraco (ácido acético) a vários tipos de água e mede-se o respetivo pH.

AL 2.3 – Neutralização: uma reação de ácido-base

Atividade 1 – Titulação ácido forte - base forte utilizando um indicador

Procede-se à titulação de ácido sulfúrico com solução de hidróxido de sódio, utilizando um indicador, e calcula-se a concentração desconhecida do ácido: a) solução alcoólica de fenolftaleína; e b) vermelho de metilo.

Atividade 2 – Titulação ácido forte - base forte utilizando um medidor de pH

Procede-se à titulação de ácido sulfúrico com solução de hidróxido de sódio, utilizando um medidor de pH eletrónico ou um sensor, traça-se a curva de titulação e calcula-se a concentração desconhecida do ácido.

AL 2.4 - Série eletroquímica: o caso dos metais

Procede-se ao contacto de quatro metais (M = Cu, Zn, Al, Mg) com soluções aquosas de nitratos contendo os cátions dos outros metais e verifica-se se há ocorrência de reação química: a) Cu/Zn(NO₃)₂(aq); b) Al/Zn(NO₃)₂(aq); c) Mg/Zn(NO₃)₂(aq); d) Zn/Cu(NO₃)₂(aq); e) Al/Cu(NO₃)₂(aq); f) Mg/Cu(NO₃)₂(aq); g) Mg/Al(NO₃)₂(aq); h) Cu/Al(NO₃)₂(aq); i) Zn/Al(NO₃)₂(aq); j) Cu/Mg(NO₃)₂(aq); k) Zn/Mg(NO₃)₂(aq); e l) Al/Mg(NO₃)₂(aq)

AL 2.5 – Solubilidade: solutos e solventes

Atividade 1 – Solubilidade de diferentes sais em diferentes solventes

Atividade a) Solvente: água. Atividade b) Solvente: etanol. Atividade c) Solvente: hexano.
Solutos: i) cloreto de sódio; ii) cloreto de cálcio; iii) carbonato de cálcio; iv) iodo; v) heptano; vi) etanol; e vii) hexano.

Atividade 2 – Influência da temperatura na solubilidade de um soluto num solvente

Traça-se a curva de solubilidade do nitrato de potássio em água, em função da temperatura.

AL 2.6 – Dureza da água e problemas de lavagem

Atividade 1 – Avaliação da dureza da água

Adiciona-se detergente, sabão e champô a diferentes tipos de água e avalia-se a dureza da água através da espuma e escuma formadas. Tipos de água: a) água dura preparada juntando cloreto de cálcio a água destilada; b) água dura preparada juntando sulfato de magnésio a água destilada; e c) água destilada usada como água macia.

Atividade 2 – Avaliação da dureza da água amaciada

Adiciona-se carbonato de sódio à água dura, diminuindo a concentração de iões Ca²⁺ ou Mg²⁺ por precipitação na forma de carbonatos, e avalia-se a dureza da água. Tipos de água: a) água dura preparada juntando cloreto de cálcio a água destilada; e b) água dura preparada juntando sulfato de magnésio a água destilada.

Tabela 4.2. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas do 11º Ano

Reagentes	Atividade	Símbolos	Pontuação de riscos para/de		
			Saúde	Ambiente	Acidente
Ácido acético ² (solução - 0,1 mol dm ⁻³)	AL2.2(2B)	-	1	1	1
Acetato de amônio	AL1.1	-	1	1	1
Acetato de sódio (aq)	AL1.1(A, B, D)	-	1	1	1
Ácido clorídrico (solução concentrada)	AL1.1(A); AL1.3	C	3	1	3
Ácido clorídrico (solução - 1 mol dm ⁻³)	AL2.2(1a)	Xi	2	1	2
Ácido clorídrico (solução - 0,1 mol dm ⁻³)	AL2.2(2Aa)	Xi	2	1	2
Ácido nítrico (solução - 0,1 mol dm ⁻³)	AL2.2(2Ab)	Xi	2	1	2
Ácido sulfúrico (solução - 0,05 mol dm ⁻³)	AL2.3	-	1	1	1
Ácido sulfúrico (solução - 2 mol dm ⁻³)	AL2.2(1b)	Xi	2	1	2
Adubo fertilizante de plantas	AL1.1	-	1	1	1
Água ^{1,2}	AL1.3(2a); AL2.1; AL2.2; AL2.3; AL2.5(1.1, 2); AL2.6	-	1	1	1
Alaranjado de metilo	AL2.1(1f)	T	3	1	3
Alumínio em folha	AL2.4(b,e,l)	-	1	1	1
Alumínio em pó	AL2.4(g)	F	1	1	3
Amoníaco (solução a 25%)	AL1.2	C, N	3	3	3
Amoníaco (solução a 5%)	AL1.1	-	1	1	1
Amoníaco (gasoso)	AL1.1	T, N	3	3	3
Azul de bromofenol	AL2.1(1b)	-	1	1	1
Carbonato de cálcio ²	AL2.2(1a); AL2.5(1.1c, 1.2c, 1.3c), AL2.6(2a)	Xi	2	1	2
Carbonato de sódio ^{1,2}	AL2.6(2)	Xi	2	1	2
Carbonato de magnésio	AL2.6(2b)	-	1	1	1
Carmim de índigo	AL2.1(1d)	Xn	2	1	2
Champô ²	AL2.6(1)	-	1	1	1
Cloreto de amônio	AL1.1(A)	Xn	2	1	2
Cloreto de cálcio ²	AL2.2(1a); AL2.5(1.1b, 1.2b, 1.3b), AL2.6(1a, 2a)	Xi	2	1	2
Cloreto de cobalto(II) hexaidratado	AL1.3	T, N	3	3	3
Cloreto de sódio ^{1,2}	AL2.5(1.1a, 1.2a, 1.3a); AL2.6(1a, 2a)	-	1	1	1
Cobre em folha	AL2.4(a, h, j)	-	1	1	1
Cobre em pó	AL2.4(d, e, f)	F	1	1	3
Detergente amoniacal	AL1.1	-	1	1	1
Detergente comercial ²	AL2.6.	-	1	1	1
Dióxido de carbono ²	AL2.2(1a)	-	1	1	1
Dióxido de enxofre	AL2.2(1b)	T	3	1	3
Estearato de magnésio ²	AL2.6(1b)	Xi	2	1	2
Estearato de cálcio ²	AL2.6(1a)	Xi	2	1	2
Etanol	AL1.2; AL2.5(1.1f, 1.2)	F	1	1	3
Fenolftaleína (solução alcoólica)	AL2.1(1a); AL2.3(1a)	T	3	1	3
Heptano	AL2.5(1.1e, 1.2e, 1.3e)	Xn, F, N	2	3	3
Hexano	AL2.5(1.1g, 1.2f, 1.3)	Xn, F, N	2	3	3
Hidróxido de sódio (solução 0,1 mol dm ⁻³)	AL1.1(A, B, D); AL2.3	Xi	2	1	2
Indicador universal	AL2.1(1e); AL2.2(1a, b)	F	1	1	3
Iodo	AL2.5(1.1d, 1.2d, 1.3d)	Xn, N	2	3	2
Magnésio, em fita	AL2.4(c, f, g)	F	1	1	3
Nitrato de alumínio	AL2.4(b, e, g, h, i)	Xi, O	2	1	3
Nitrato de cobre	AL2.4(d, e, f)	C, O	3	1	3
Nitrato de magnésio	AL2.4(c, f, g, j, k, l)	Xi, O	2	1	3
Nitrato de potássio	AL2.5(2)	O	1	1	3
Nitrato de zinco	AL2.4(a, b, c, d)	Xn, O	2	1	3
Papel vermelho de tornesol	AL1.1(B)	-	1	1	1
Reagente de Nessler	AL1.1(C)	T ⁺ , N	3	3	3
Sabão para lavagem manual ²	AL2.6.	-	1	1	1
Solução tampão calibração pH=10 (Hanna)	AL2.1(2, 3), AL2.2, AL2.3(2)	-	1	1	1
Solução tampão calibração pH=4 (Hanna)	AL2.1(2, 3), AL2.2, AL2.3(2)	-	1	1	1
Solução tampão calibração pH=7 (Hanna)	AL2.1(2, 3), AL2.2, AL2.3(2)	-	1	1	1
Sulfato de cobre pentaidratado	AL1.1(D), AL1.2	Xn, N	2	3	2
Sulfato de magnésio	AL2.6(1b, 2b)	-	1	1	1
Sulfato de sódio	AL2.2(1b), AL2.3.	-	1	1	1
Sulfato de tetraaminocobre(II)	AL1.1(D), AL1.2	Xi	2	1	2
Sulfito de sódio	AL2.2(1b)	-	1	1	1
Tornesol	AL2.1(1e)	Xn	2	1	2
Vermelho de metilo	AL2.1(1g); AL2.3(1b)	N	1	3	1
Zinco em folha	AL2.4(d, i, k)	-	1	1	1
Zinco em pó	AL2.4(b, c)	N	1	3	1

¹ Renováveis

² Degradáveis com produtos de degradação inócuos

4.3.1. AL 1.1 - Amoníaco e compostos de amónio em materiais de uso comum.

Objetivos

Os objetivos propostos no programa para esta atividade são [1]:

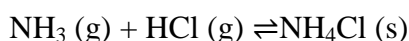
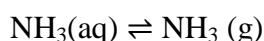
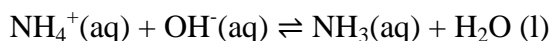
- Reconhecer o laboratório como um local de trabalho onde a segurança é fundamental na manipulação de material e de equipamentos.
- Adotar atitudes e comportamentos de segurança adequados à manipulação de produtos amoniacaais comerciais.
- Identificar compostos de amónio e amoníaco usando testes químicos específicos.
- Inferir a presença de compostos de amónio em materiais de uso diário (adubos e produtos de limpeza domésticos).

Descrição

Nesta AL estão envolvidas 4 atividades, apresentadas a seguir.

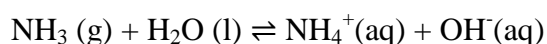
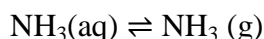
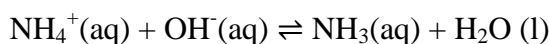
Teste A – Identificação de amoníaco gasoso pela formação de cloreto de amónio, sólido, na reação com cloreto de hidrogénio, gasoso.

Este ensaio tem como intenção produzir cloreto de amónio (sólido) a partir do amoníaco e do cloreto de hidrogénio, em fase gasosa. Serve para identificar a presença do amoníaco ou, indiretamente, a do ião amónio, já que este origina amoníaco na presença de bases fortes:



Teste B – Identificação de amoníaco gasoso pelo carácter alcalino de uma solução de amoníaco em água

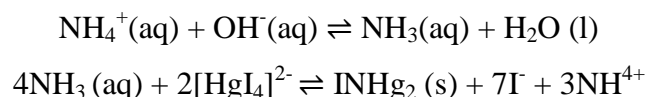
Trata-se de um ensaio que comprova o carácter alcalino de uma solução, o que acontece se a amostra ensaiada contiver amoníaco ou o catião amónio, o qual origina amoníaco



Teste C – Identificação de amoníaco, ou sais de amónio, por reação com o reagente de Nessler.

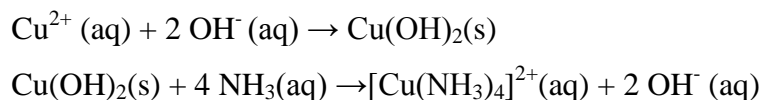
Este teste, realizado em solução aquosa, serve para identificar o amoníaco, por formação do composto aminado contendo iodo e mercúrio, utilizando o Reagente de Nessler (solução alcalina de tetraiodomercurato (II) de potássio). No caso de existir amoníaco ou

catião amónio transformado em amoníaco, formar-se-á um sólido de cor amarelo acastanhado, de cor mais intensa no caso de concentrações mais elevadas.



Teste D – Identificação de amoníaco pela formação do ião complexo tetraminocobre (II) de cor azul intensa.

Este teste realizado em solução aquosa, permite identificar o amoníaco por formação de um ião complexo, tetraaminocobre (II), de cor azul intensa, segundo as equações:



Componentes e pontuações para construir as EV

As informações para construir as EV são apresentadas nas Tabelas 1-4 e 5, respetivamente, do anexo III.

Resultados

Na Figura 4.7 apresentam-se as EV e os respetivos IPE para cada uma das atividades avaliadas.

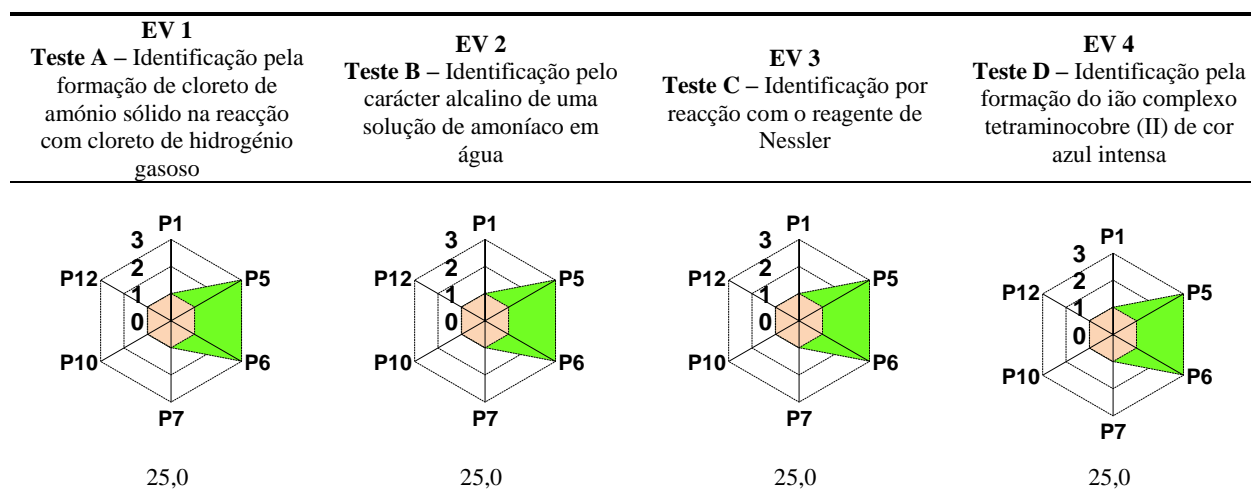


Figura 4.7. EV da AL 1.1 do 11º Ano (os números por baixo das EV são os respetivos IPE)

Análise das EV

Nesta atividade experimental o programa não faz qualquer referência às concentrações das soluções de hidróxido de sódio, amoníaco e cloreto de amónio, pelo que se pesquisou os riscos/MSDS das soluções a várias concentrações. Posteriormente, verificou-se que a atividade poderia ser realizada com as soluções menos concentradas, que envolveriam

menores riscos para a saúde e de acidente. Verificou-se experimentalmente que era possível usar soluções de hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ e de amoníaco a 5% m/m e utilizou-se o acetato de amónio, atendendo ao baixo risco deste composto. É de realçar ainda o facto de o programa referir amostras padrão quando se está a referir a amostras para ensaios em branco e amostras de soluções de amoníaco.

As diversas EV para este grupo mostram que, para todas as atividades, o quinto e o sexto princípio tem a pontuação 3, por não se utilizarem substâncias auxiliares e as experiências serem realizadas à pressão e temperaturas ambientes. Em relação aos outros princípios todas as atividades têm pontuação 1. A pontuação para o sétimo e décimo princípios reduz-se sempre a 1, pois as substâncias utilizadas não são renováveis, nem degradáveis em produtos de degradação inócuos. Por outro lado, a pontuação para o primeiro e décimo segundo princípios é de 1, pois as substâncias envolvidas nas várias actividades apresentam um risco elevado para a saúde, para o ambiente e de acidente químico, nomeadamente: Teste A (EV 1) – amoníaco gasoso (T,N) e ácido clorídrico concentrado (C); Teste B (EV 2) – amoníaco gasoso (T,N); Teste C (EV 3) – reagente de nesler (T+,N) e Teste D (EV 4) – sulfato de cobre (N). É de salientar que risco para a saúde e de acidente do hidróxido de sódio (Xi) é moderado, uma vez que a sua concentração é inferior a 5%, a solução de amoníaco a 5% m/m não têm indicação de risco para a saúde, de acidente ou para o ambiente.

Por comparação verifica-se que a EV é igual para todos os testes e é muito reduzida.

Propostas para aumentar a verdura

Neste caso, o programa não indica o sal de amónio a usar nem as concentrações das soluções de hidróxido de sódio e de amoníaco. Essa indicação seria aconselhável para, em situação escolar, se evitar a utilização de soluções mais concentradas do que necessário e de sais de amónio com riscos.

Relativamente ao teste B, o programa refere que é necessário aquecer a solução, no entanto, verificou-se que se podia realizar a experiência à temperatura ambiente, reduzindo deste modo o consumo energético

Não será de se realizar o teste C, uma vez que o reagente de Nessler envolve um elevado risco para a saúde.

4.3.2. AL 1.2 – Síntese do sulfato de tetraaminacobre (II) monoidratado.

Objetivos

Os objetivos propostos no programa para esta atividade são [1]:

- Reconhecer o laboratório como um local de trabalho onde a segurança é fundamental na manipulação de material e equipamento.
- Realizar laboratorialmente a síntese do sulfato de tetraaminacobre (II) monoidratado.
- Traduzir a reação química da síntese por uma equação química.
- Efetuar cálculos estequiométricos.
- Calcular o rendimento da síntese.

Descrição

A reação de síntese do sal sulfato de tetraaminacobre (II) monoidratado é efetuada por cristalização lenta deste sal a partir de uma reação de precipitação entre soluções aquosas de amoníaco e de sulfato de cobre pentaidratado. Os cristais obtidos são finos (pouco espessos), mais compridos do que largos, de faces paralelepípedicas e de uma cor azul arroxeadada.

Componentes e pontuações para construir as EV

As informações recolhidas para construir as EV são apresentadas nas Tabelas 6 e 7, respetivamente, do anexo III.

Resultados

Na Figura 4.8 apresenta-se a EV e o respetivo IPE para a atividade.

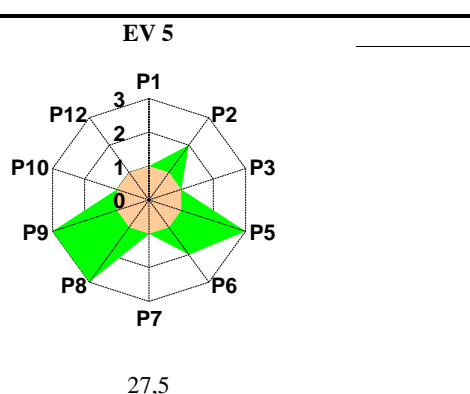


Figura 4.8. EV da AL 1.2 do 11º Ano (os números por baixo das EV são os respetivos IPE)

Análise das EV

Para esta atividade (EV 5) a área verde é muito reduzida (27,5%). Uma vez que esta atividade envolve a síntese de um composto, não foi utilizada a EV simplificada. Para o quinto, oitavo e nono princípio a pontuação foi de 3, atendendo a que o solvente utilizado (etanol) não envolve riscos para a saúde, não ser realizada nenhuma derivatização durante o processo de síntese e não serem utilizados catalisadores. O facto de se utilizar reagente em excesso e de não haver formação de coprodutos (à exceção da água que não se considerou) reduz a pontuação do segundo princípio a 2. Nesta reação de síntese é necessário arrefecer a mistura, o que diminui a pontuação do sexto princípio a 2. Para o primeiro e terceiro princípio a pontuação é de 1, pois o amoníaco envolve riscos para o ambiente (N). A pontuação para o sétimo e décimo princípios reduz-se também a 1, pois as substâncias utilizadas não são renováveis, nem degradáveis com produtos de degradação inócuos. No que concerne o décimo segundo princípio, a pontuação é de 1 pois as substâncias envolvidas, amoníaco (C) e etanol (F), apresentam riscos elevados para a saúde e de acidente.

Propostas para aumentar a verdura

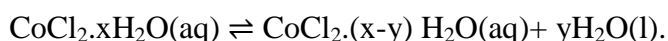
Seria aconselhável a realização de uma reação de síntese que envolve-se substâncias mais benignas.

4.3.3. AL 1.3 – Efeitos da temperatura e da concentração na progressão global de uma reação

Objetivos

Os objetivos propostos no programa para esta atividade são [1]:

- Reconhecer o laboratório como um local de trabalho onde a segurança é fundamental na manipulação de material e equipamento.
- Utilizar corretamente as medidas gerais e pessoais de segurança.
- Estudar o efeito da variação da temperatura e da concentração no equilíbrio homogéneo:



Descrição

Nesta atividade pretende-se estudar os efeitos da temperatura e da concentração no equilíbrio homogéneo entre o $\text{CoCl}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}(\text{aq})$ e o $\text{CoCl}_2 \cdot (x-y)\text{H}_2\text{O}(\text{aq})$ em ambiente laboratorial. A reação de equilíbrio, traduzida pela equação anterior, é endoenergética no

sentido direto; a forma mais hidratada do cloreto de cobalto tem cor rosa avermelhada, enquanto a forma menos hidratada tem cor azul.

Nesta AL estão envolvidas 2 atividades que se apresentam em seguida.

Atividade 1 – Efeito da variação da temperatura

Na atividade 1 os alunos estudam o efeito da variação da temperatura na reação. Provocando um aumento de temperatura por aquecimento do sistema reacional, a reação progride no sentido de absorção de energia, ou seja, no sentido direto, aumentando a concentração do composto de coloração azul. Por diminuição da temperatura, arrefecendo o sistema reacional, a reação progride no sentido inverso, evidenciando-se o composto de tonalidade rosa avermelhada.

Atividade 2 – Efeito da variação da concentração

Na atividade 2 os alunos estudam o efeito da variação da concentração no equilíbrio químico. Nesta atividade estudam o que acontece à reação quando se adiciona:

- a) água
- b) ácido clorídrico
- c) cloreto de cobalto

Componentes e pontuações para construir as EV

As informações coligidas para construir as EV são apresentadas nas Tabelas 8-11 e 12, respectivamente, do anexo III.

Resultados

Na Figura 4.9 apresentam-se as EV e os respectivos IPE para cada uma das atividades avaliadas.

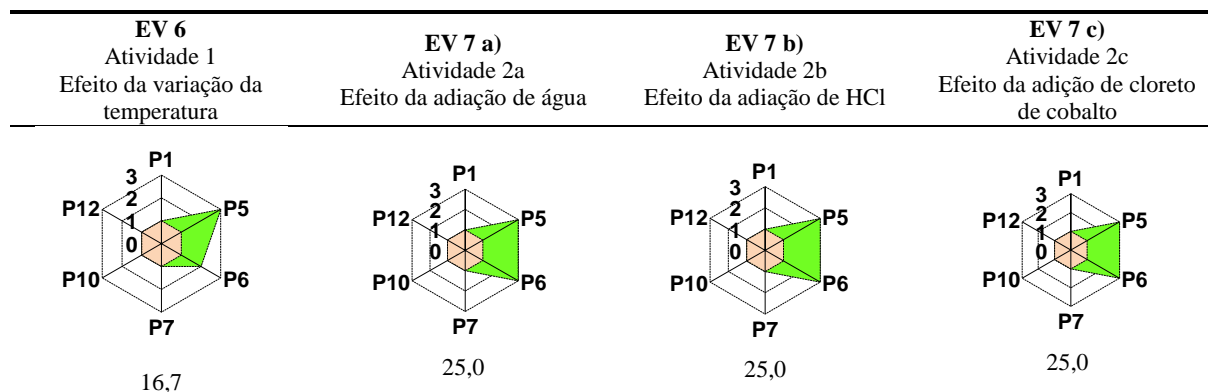


Figura 4.9. EV da AL 1.3 do 11º Ano (os números por baixo das EV são os respectivos IPE)

Análise das EV

As diversas EV para este grupo mostram que para todas as atividades, o primeiro e o décimo segundo princípios têm pontuação 1 por se utilizar compostos de cobalto (T) que envolvem riscos elevados para a saúde e de acidente. A pontuação para o sétimo e décimo princípios reduz-se também a 1, pois as substâncias utilizadas não são renováveis, nem degradáveis em produtos de degradação inócuos. No que se refere, ao sexto princípio a pontuação é sempre 3, exceto para a atividade 1 (EV 6), em que é 2, pois a experiência é realizada a temperaturas diferentes da ambiente.

Por mera comparação visual, verifica-se que nenhuma EV apresenta uma área verde superior a 50% da máxima. Para as atividades: 2a), 2b) e 2c), respetivamente "efeito da adição de água" (EV 7a), "adição de ácido clorídrico" (EV 7b) e a "adição de cloreto de cobalto" (EV 7c), a área verde da estrela é reduzida. Para a atividade 1, "efeito da variação da temperatura" (EV 6), a EV apresenta uma área verde muito baixa, pois a pontuação é reduzida a 2 para o sexto princípio.

Propostas para aumentar a verdura:

Seria preferível a utilização de atividades que não envolvessem compostos com riscos tão elevados.

4.3.4. AL 2.1 – Ácido ou base: uma classificação de alguns materiais

Objetivos

Os objetivos propostos no programa para esta atividade são [1]:

- Reconhecer o laboratório como local de trabalho onde a segurança é fundamental na manipulação de material e equipamento.
- Classificar uma solução aquosa como ácida, neutra ou alcalina a partir da medição do pH ou do uso de indicadores.
- Comparar vantagens e desvantagens de diferentes processos de avaliação da acidez/alcalinidade de uma solução aquosa.
- Verificar a variação do valor do pH provocado pela alteração da temperatura.
- Interpretar a variação do valor do pH provocado pela alteração da temperatura com base na auto-ionização da água e na Lei de Le Chatelier.
- Relacionar a natureza ácida ou básica da água analisada com características geológicas da região de captação.
- Aplicar a metodologia de resolução de problemas por via experimental.

Descrição

Nesta AL estão envolvidas 3 atividades que se apresentam a seguir.

Atividade 1 - Classificação de águas e de outras soluções aquosas em ácidas, neutras ou alcalinas utilizando indicadores ácido-base.

Procede-se à classificação de águas e de outras soluções aquosas em ácidas, neutras ou alcalinas utilizando processos de avaliação qualitativa com recurso a indicadores (em solução ou impregnado em papel). Os indicadores sugeridos pelo programa são:

- a) fenolftaleína;
- b) azul de bromofenol;
- c) tornesol;
- d) carmim de índigo;
- e) indicador universal;
- f) vermelho de metilo ou
- g) alaranjado de metilo

Atividade 2 – Medição do pH de uma solução

Procede-se à medição do pH de várias soluções utilizando um medidor de pH de bancada com eletrodo combinado e respetiva classificação do carácter químico.

Atividade 3 – Apreciação do efeito da temperatura no pH de uma solução

Procede-se à leitura do valor de pH a diferentes temperaturas utilizando um medidor de pH de bancada com eletrodo combinado

Componentes e pontuações para construir as EV

As informações relevantes para construir as EV são apresentadas nas Tabelas 13-15 e 16-17, respetivamente, do anexo III.

Resultados

Na Figura 4.10 apresentam-se as EV e os respetivos IPE para cada uma das atividades avaliadas.

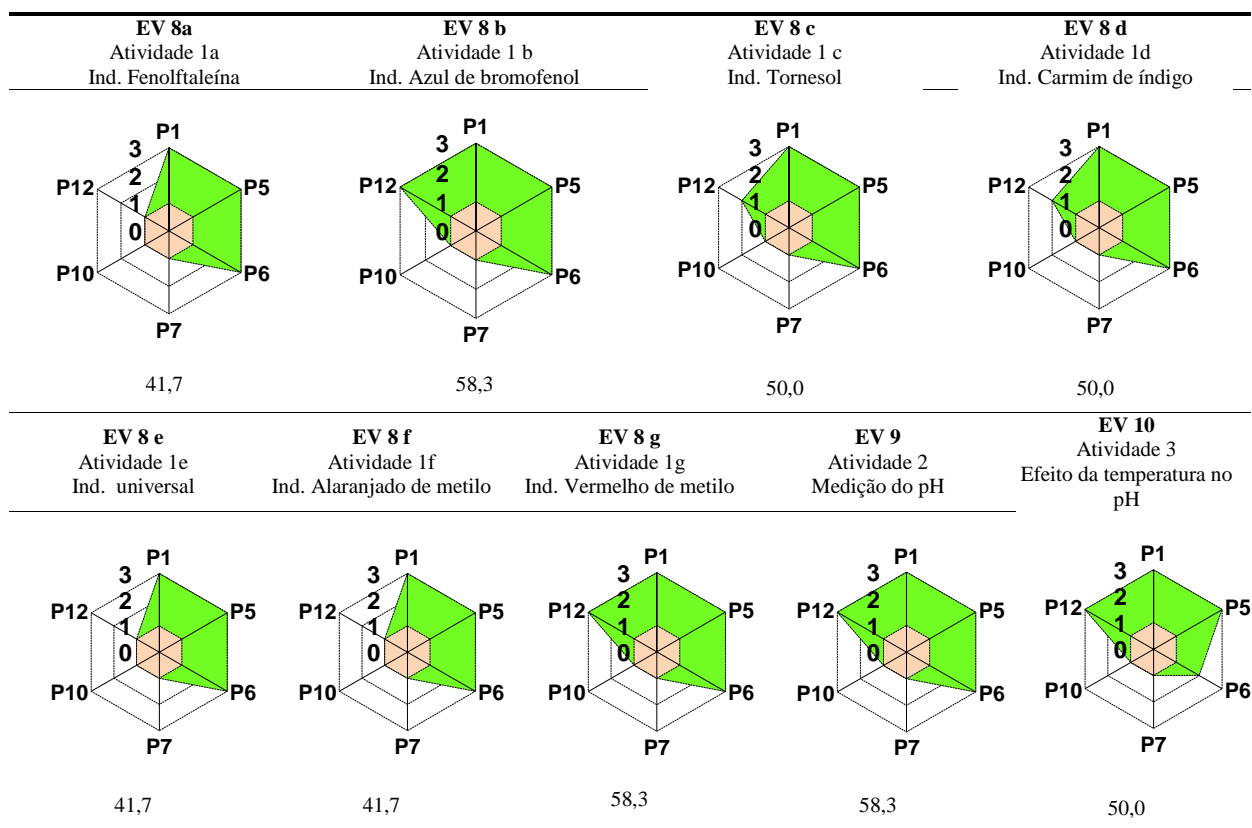


Figura 4.10. EV da AL 2.1 do 11º Ano (os números por baixo das EV são os respectivos IPE)

Análise das EV

As diversas EV para este grupo, mostram que para todas as atividades, o primeiro e o quinto princípio têm a pontuação 3, uma vez que os resíduos formados são inócuos e não se utilizam substâncias auxiliares, respetivamente. É de salientar que para todas as experiências se considerou que os indicadores não constituíam um resíduo, uma vez que a cada solução se adicionou apenas umas gotas de indicador, estando portanto muito diluídos, não afetando a solução do ponto de vista de risco para a saúde e para o ambiente. No que concerne ao sexto princípio todas as atividades têm a pontuação 3, excepto a actividade 2, “efeito da temperatura no pH da solução” (EV 10), em que é 2, pois a experiência decorre a uma temperatura superior à temperatura ambiente. No que se refere ao sétimo e décimo princípios a pontuação é sempre 1, pois as substâncias utilizadas não são renováveis, nem degradáveis em produtos de degradação inócuos. A pontuação para o décimo segundo princípios depende da benignidade e do risco de acidente químico apresentado pelas diversas substâncias usadas.

Por mera comparação visual verifica-se que a EV apresenta uma área verde superior para as actividades 1b, 1g e 2, “classificação das águas utilizando o indicador azul de bromofenol” (EV 8b) o "vermelho de metilo" (EV 8g) ou utilizando o "medidor de pH" (EV 9), respectivamente. Nestas actividades a pontuação é de 3 para o décimo segundo princípio uma vez que apresentam um baixo risco de acidente químico. Para as actividades 1c e 1d,

“classificação das águas utilizando o indicador tornesol” (EV 8c) ou "carmim de índigo" (EV 8d), a área verde é mais reduzida. Para o décimo segundo princípio a pontuação é reduzida a 2, pois estes indicadores apresentam risco moderado para a saúde e de acidente químico (Xn). A actividade 3, "apreciação do efeito da temperatura no pH de uma solução" (EV 10), apresenta a mesma área verde. Para o décimo segundo princípio a pontuação é de 3, pois as substâncias utilizadas apresentam um baixo risco de acidente químico, mas para o sexto princípio a pontuação é reduzida a 2, pois a actividade decorre a uma temperatura superior à temperatura ambiente. Para as actividades 1a, 1e e 1f, “classificação das águas utilizando o indicador fenolftaleína” (EV 8a), o "indicador universal" (EV 8e) e o "alaranjado de metilo" (EV 8f), a área da EV reduz-se ainda mais, pois os riscos para a saúde e de acidente químico da fenolftaleína (T), o indicador universal (F) e o vermelho de metilo (T) são elevados, o que leva à redução da pontuação do décimo segundo princípio para 1.

Propostas para aumentar a verdura

Seria aconselhável não utilizar a fenolftaleína e o alaranjado de metilo, atendendo à sua toxicidade (T), o que parece não colocar em causa os objetivos propostos para a atividade.

4.3.5. AL 2.2 - Chuva “normal” e chuva ácida

Objetivos

Os objetivos propostos no programa para esta atividade são [1]:

- Reconhecer o laboratório como um local de trabalho onde a segurança é fundamental na manipulação de material, de reagentes e de equipamento.
- Interpretar, qualitativamente, a acidificação de uma água, ou de uma solução aquosa, provocada pela reação do dióxido de carbono.
- Interpretar a formação de chuvas ácidas a partir da reação com óxidos de enxofre, explicitando as correspondentes equações químicas.
- Inferir que águas em contacto com óxidos de azoto e de enxofre podem originar soluções com pH inferior a 5,6 (temperatura de 25 °C e pressão de uma atmosfera).
- Interpretar o efeito de quantidades iguais de ácidos fortes e fracos, num mesmo meio.
- Distinguir, operacionalmente, um ácido forte de um fraco conhecidas as concentrações iniciais em ácido.

- Interpretar a diminuição do pH de um meio aquático, por adição de uma solução de ácido e relacionar essa variação com a composição do meio.
- Prever a força relativa de um ácido monoprotónico, a partir do valor da constante de acidez (K_a).
- Aplicar a metodologia de resolução de problemas, por via experimental.

Descrição

Nesta AL estão envolvidas 2 atividades que se apresentam em seguida.

Atividade 1 - Verificar se há ou não alteração do pH em duas amostras de água fazendo borbulhar CO_2 e SO_2 .

- Produção de CO_2 (para a obtenção rápida dos efeitos da dissolução de CO_2 em água destilada provoca-se num recipiente fechado (balão de tubuladura lateral) a reação entre ácido clorídrico e carbonato de cálcio). A fim de borbulhar o gás produzido por esta reação, liga-se um tubo à saída lateral para dentro de uma amostra de água destilada com algumas gotas de indicador universal e um eletrodo de pH imerso.
- Produção de SO_2 (através da reação de sulfito de sódio com ácido sulfúrico $2,0 \text{ mol dm}^{-3}$). A obtenção do dióxido de enxofre poderá ser feita a partir da reação de sulfito de sódio com ácido sulfúrico $2,0 \text{ mol dm}^{-3}$, num balão com tubuladura lateral.

Atividade 2 - Força relativa de ácidos e concentração das soluções respetivas.

- Procede-se à adição de vários volumes de um ácido forte (ácido clorídrico ou ácido nítrico) à água e respetivo registo do pH. i) ácido clorídrico ou ii) ácido nítrico.
- Procede-se à adição de vários volumes de um ácido fraco - ácido acético à água e respetivo registo do pH.

Componentes e pontuações para construir as EV

As informações recolhidas para construir as EV apresentam-se nas Tabelas 18-22 e 23 respetivamente, do anexo III.

Resultados

Na Figura 4.11 apresentam-se as EV e os respetivos IPE para cada uma das atividades avaliadas.

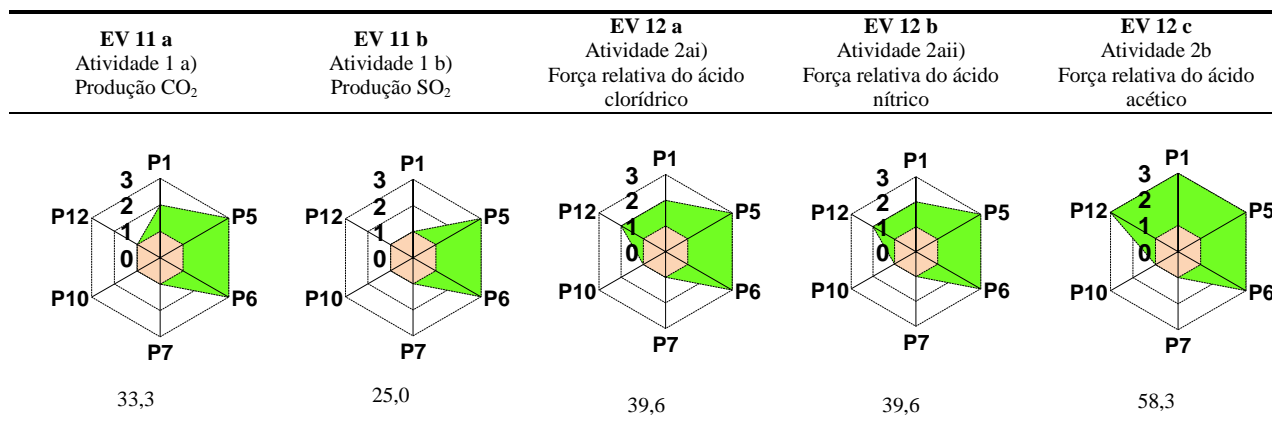


Figura 4.11. EV da AL 2.2 do 11º Ano (os números por baixo das EV são os respectivos IPE)

Análise das EV

As diversas EV para este grupo mostram que para todas, o quinto e o sexto princípio têm a pontuação 3, pois as substâncias auxiliares utilizadas (soluções padrão de calibração) são inócuas e as experiências realizam-se à temperatura ambiente. Por outro lado, a pontuação para o sétimo e décimo princípios reduz-se sempre a 1, pois as substâncias utilizadas não são renováveis, nem degradáveis com produtos de degradação inócuos.

Por mera comparação visual, verifica-se que a EV para a atividade 2b, “força relativa do ácido acético” (EV 12c), apresenta uma área verde superior. A pontuação é de 3 para o primeiro princípio atendendo a que todos os resíduos formados são inócuos. No que se refere ao décimo segundo princípio, a pontuação é também de 3, pois as substâncias apresentam um baixo risco de acidente. Para as actividades 2ai) e 2aii), “força relativa do ácido clorídrico” (EV 12a) ou do “ácido nítrico” (EV 12b), a área verde é mais reduzida. Para o primeiro e o décimo segundo princípio a pontuação é reduzida a 2, pois estes ácidos apresentam risco moderado para a saúde e de acidente químico (Xi). Para a atividade 1a, “produção de CO₂” (EV 11a), a área da EV reduz-se ainda mais. A pontuação para o primeiro princípio reduz-se a 2, pois o cloreto de cálcio (Xi) envolve riscos para a saúde, mas para o décimo segundo princípio a pontuação é reduzida a 1, pois o indicador universal (F) envolve riscos de acidente. Para a atividade 1b, “produção de SO₂” (EV 11b), a área da EV é muito menor, pois os riscos para a saúde e de acidente químico são elevados, o que leva à redução da pontuação do primeiro e décimo segundo princípio para 1 (dióxido de enxofre (T) e indicador universal (F)).

Propostas para aumentar a verdura

Seria recomendável não realizar a produção de SO₂, atendendo à toxicidade do dióxido de enxofre (T). Se os alunos apenas realizarem a produção de CO₂, os objetivos propostos para a atividade podem ser atingidos da mesma forma.

4.3.6. AL 2.3 – Neutralização: uma reação de ácido-base

Objetivos

Os objetivos propostos no programa para esta atividade são [1]:

- Reconhecer o laboratório como um local de trabalho onde a segurança é fundamental na manipulação com material, equipamento, ácidos e bases.
- Conhecer processos para neutralizar resíduos de ácidos/bases.
- Realizar uma titulação.
- Selecionar indicadores adequados à titulação entre um ácido forte e uma base forte de acordo com a zona de viragem do indicador e a variação brusca do pH na curva de titulação.
- Determinar graficamente o ponto de equivalência e compará-lo com o valor teoricamente previsto.
- Identificar um ácido forte através da curva de titulação obtida usando uma base forte como titulante.
- Determinar a concentração do titulado a partir dos resultados, nomeadamente os extrapolados da curva de titulação.

Descrição

Nesta AL estão envolvidas 2 atividades que se apresentam de seguida.

Atividade 1 – Titulação ácido forte/base forte

Procede-se à titulação do ácido sulfúrico (0,050 mol dm⁻³) com hidróxido de sódio (0,10 mol dm⁻³) utilizando um indicador:

- a) solução alcoólica de fenolftaleína
- b) vermelho de metilo

Atividade 2 – Titulação do ácido sulfúrico com hidróxido de sódio utilizando um medidor de pH.

Procede-se à titulação do ácido sulfúrico (0,050 mol dm⁻³) com hidróxido de sódio (0,10 mol dm⁻³) utilizando um medidor de pH, para os alunos representarem a curva de titulação.

Componentes e pontuações para construir as EV

As informações obtidas para construir as EV são apresentadas nas Tabelas 24 e 25, respetivamente, do anexo III.

Resultados

Na Figura 4.12 apresentam-se as EV e os respetivos IPE para cada uma das atividades avaliadas.

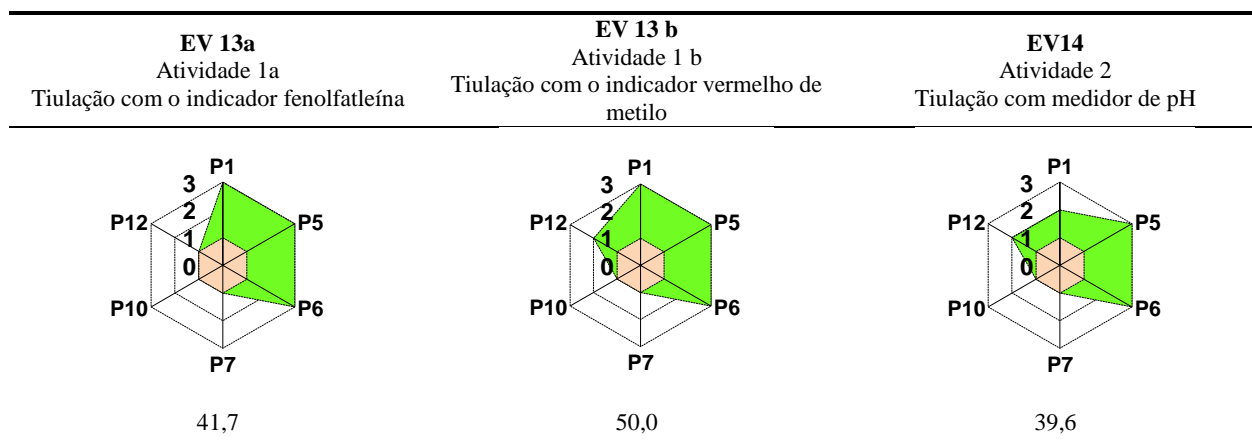


Figura 4.12. EV da AL 2.3 do 11º Ano (os números por baixo das EV são os respetivos IPE)

Análise das EV

As diversas EV para este grupo mostram que para todas o quinto e sexto princípio têm a pontuação 3, pois as substâncias auxiliares utilizadas são inócuas (soluções padrão de calibração) e as atividades são realizadas à temperatura e pressão ambiente. Por outro lado, a pontuação para o sétimo e décimo princípios reduz-se sempre a 1, pois as substâncias utilizadas não são renováveis, nem degradáveis em produtos de degradação inócuos. As EV diferem na pontuação do primeiro e décimo segundo princípios. O primeiro princípio tem a pontuação 3 para ambas as actividades 1 (EV 13a, EV 13b) pois os resíduos formados são inócuos (P1) (os indicadores foram utilizados em quantidades muito reduzidas (2 gotas), apresentando-se muito diluídos pelo que não foram considerados nos resíduos) e reduz-se a 2 na actividade 2 (EV 14), pois como se traça a curva de titulação existe excesso de hidróxido de sódio (Xi) no titulado (resíduo). O décimo segundo principio tem a pontuação 2 para as actividades 1b e 2, o hidróxido de sódio (Xi) envolve um risco moderado de acidente químico) e para a actividade 1a a pontuação é reduzida a 1 porque se utiliza fenolftaleína (T), que apresenta um risco elevado de acidente químico.

Propostas para aumentar a verdura

Atendendo às EV obtidas seria preferível utilizar vermelho de metilo.

4.3.7. AL 2.4 - Série eletroquímica: o caso dos metais

Objetivos

Os objetivos propostos no programa para esta atividade são [1]:

- Planificar a atividade laboratorial.
- Selecionar o equipamento laboratorial adequado à atividade em causa.
- Aplicar as técnicas e os princípios subjacentes às diferentes situações laboratoriais.
- Aplicar regras de segurança adequadas ao trabalho laboratorial em causa.
- Organizar uma série eletroquímica.
- Selecionar um metal a usar como proteção de outro.

Descrição

O programa propõe que se realize esta atividade a microescala, em placas de microescala. Durante a realização experimental coloca-se em contacto cada um dos metais e as várias soluções aquosas de sais contendo os catiões dos outros metais. As reações (se as houver) ocorrerão à temperatura ambiente, embora a modificação do sistema seja visível mais rapidamente nuns casos do que noutros. O programa refere que é conveniente deixar os metais em contacto com as soluções durante toda a aula.

Componentes e pontuações para construir as EV

As informações relevantes para construir as EV são apresentadas nas Tabelas 26, 27 e 28, respetivamente, do anexo III.

Resultados

Na Figura 4.13 apresentam-se as EV e os respetivos IPE para cada uma das atividades avaliadas.

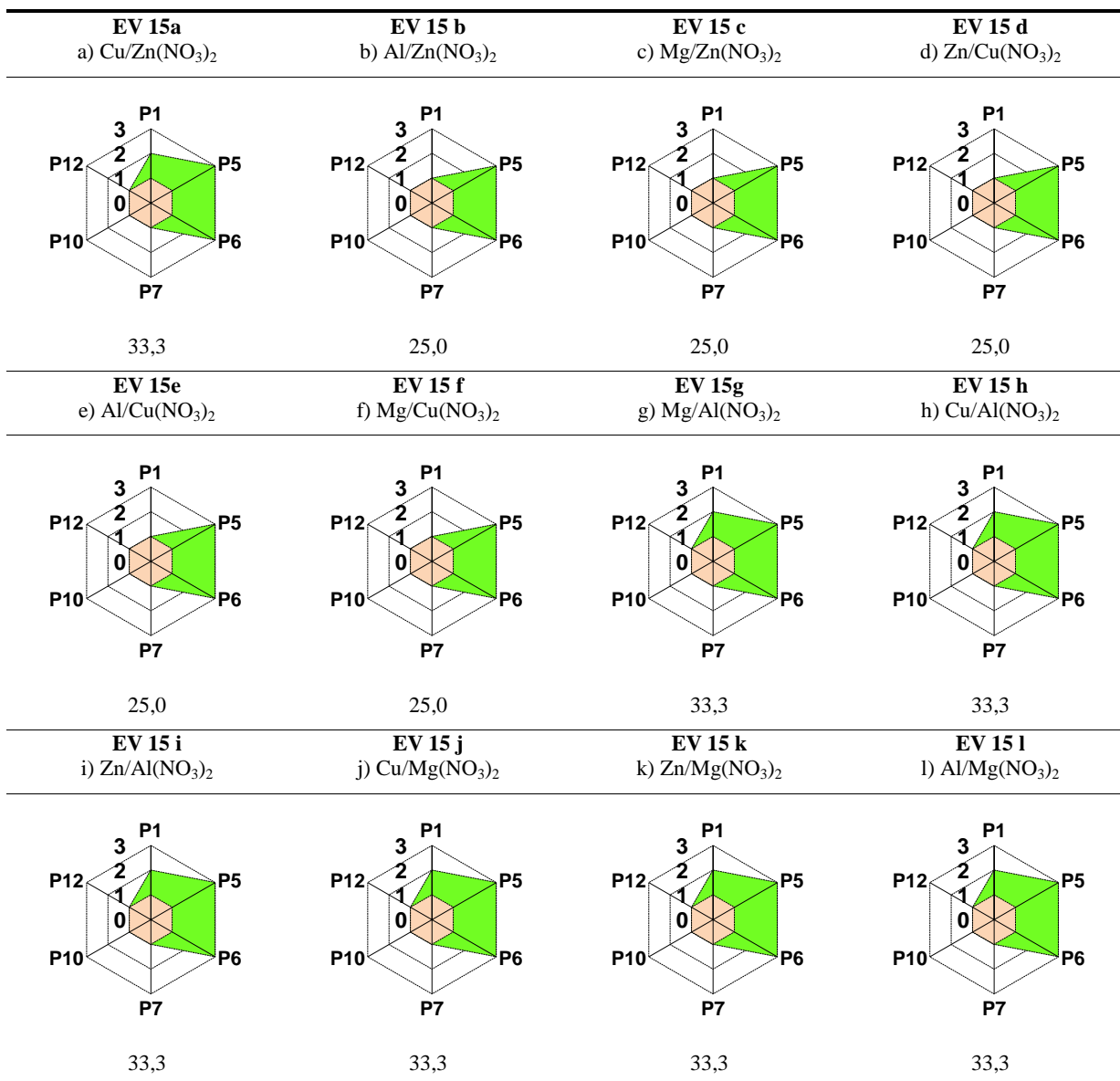


Figura 4.13. EV da AL 2.4 do 11º Ano (os números por baixo das EV são os respectivos IPE)

Análise das EV

As diversas EV para este grupo mostram que para todas, o quinto e o sexto princípio têm a pontuação 3, por não se utilizarem substâncias auxiliares e as experiências serem realizadas à temperatura ambiente. Por outro lado, a pontuação para o sétimo e décimo princípios reduz-se sempre a 1, pois as substâncias utilizadas não são renováveis, nem degradáveis em produtos de degradação inócuos. Em relação ao décimo segundo princípio, a pontuação reduz-se a 1, pois as soluções de nitratos metálicos (O) envolvem um grande risco de acidente. A pontuação para o primeiro princípio depende da benignidade das diversas substâncias usadas (os metais que se formaram por redução foram considerados resíduos).

Por mera comparação visual verifica-se que as EV apresentam uma área verde maior para as actividades a, g, h, i, j, k e l (EV 15a, 15g, 15h, 15i, 15j, 15k e 15l). Para o primeiro princípio a pontuação é reduzida a 2, pois o nitrato de zinco (Xi), nitrato de alumínio (Xi) e nitrato de magnésio (Xi) envolvem um risco moderado para a saúde. Para as actividades b e c (EV 15b e 15c), a EV apresenta uma área verde mais reduzida. A pontuação é reduzida a 1, para o primeiro princípio, pois forma-se o zinco em pó (N), que envolve um risco elevado para o ambiente. Nas actividades d, e, e f (EV 15d, 15e e 15f), a EV apresenta a mesma área verde, pois para o primeiro princípio a pontuação também se reduz a 1, uma vez que o nitrato de cobre (C) envolve um risco elevado para a saúde.

Propostas para aumentar a verdura

Seria aconselhável não realizar as actividades em que se forma o zinco em pó atendendo aos riscos que apresenta para o ambiente (N). A utilização apenas das outras substâncias parece não colocar em causa os objetivos propostos para a atividade.

4.3.8. AL 2.5 – Solubilidade: solutos e solventes

Objetivos

Os objetivos propostos no programa para esta atividade são [1]:

- Reconhecer o laboratório como local de trabalho onde a segurança é fundamental na manipulação de material e equipamento.
- Concluir sobre alguns fatores que afetam a solubilidade de um soluto num solvente.
- Traçar a curva de solubilidade de um soluto num solvente em função da temperatura.
- Aplicar técnicas e princípios subjacentes à medição e transferência de sólidos e líquidos.
- Proceder à recuperação/eliminação dos materiais utilizados, de acordo com as regras de segurança.

Descrição

Nesta AL estão envolvidas 2 atividades que se apresentam de seguida.

Atividade 1 – Solubilidade de diferentes sais em diferentes solventes

Nesta atividade avalia-se a solubilidade, classificando a solubilidade de um determinado soluto num solvente como muito solúvel, pouco solúvel ou muito pouco solúvel, para vários pares de solutos e solventes.

- a) Solvente – água – Dissolve-se diferentes sais em água: i) cloreto de sódio; ii) cloreto de cálcio; iii) carbonato de cálcio; iv) iodo; v) heptano; vi) etanol e vii) hexano
- b) Solvente – etanol – Dissolve-se diferentes sais em etanol: i) cloreto de sódio; ii) cloreto de cálcio; iii) carbonato de cálcio; iv) iodo; v) heptano e vi) hexano
- c) Solvente – hexano – Dissolve-se diferentes sais em etanol: i) cloreto de sódio; ii) cloreto de cálcio; iii) carbonato de cálcio; iv) iodo e v) heptano

Atividade 2 – Influência da temperatura na solubilidade de um soluto num solvente

Dissolve-se uma certa massa de nitrato de potássio em água e aquece-se a mistura até o soluto se dissolver completamente. Deixa-se a mistura arrefecer e regista-se a temperatura à qual a mistura começa a cristalizar

Componentes e pontuações para construir as EV

As informações para construir as EV são apresentadas nas Tabelas 29 e 30-33, respetivamente, do anexo III.

Resultados

Nas Figuras 4.14 e 4.15 apresentam-se as EV e os respetivos IPE para cada uma das atividades avaliadas.

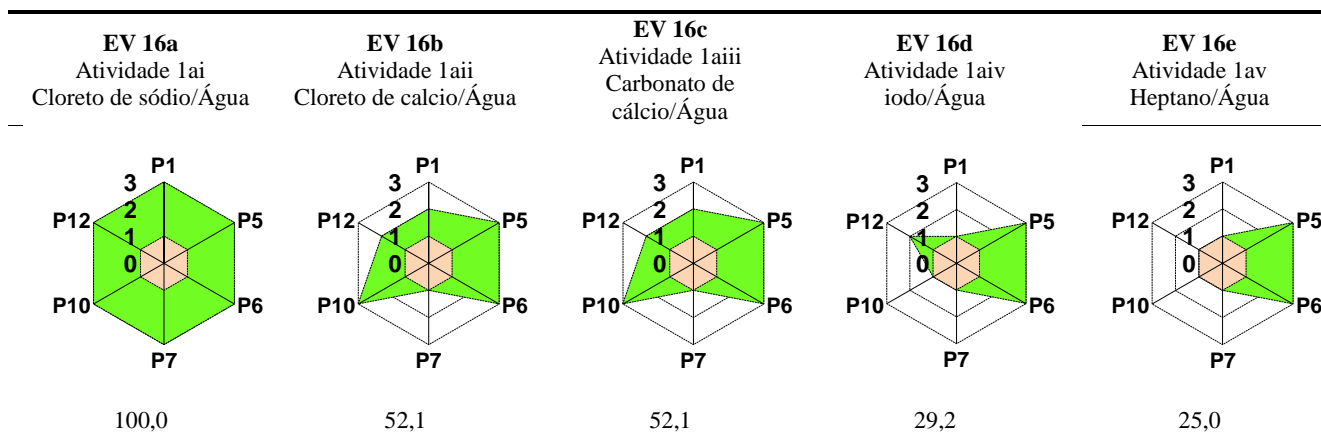


Figura 4.14. EV da AL 2.5 (1ai-1av) do 11º Ano (os números por baixo das EV são os respetivos IPE)

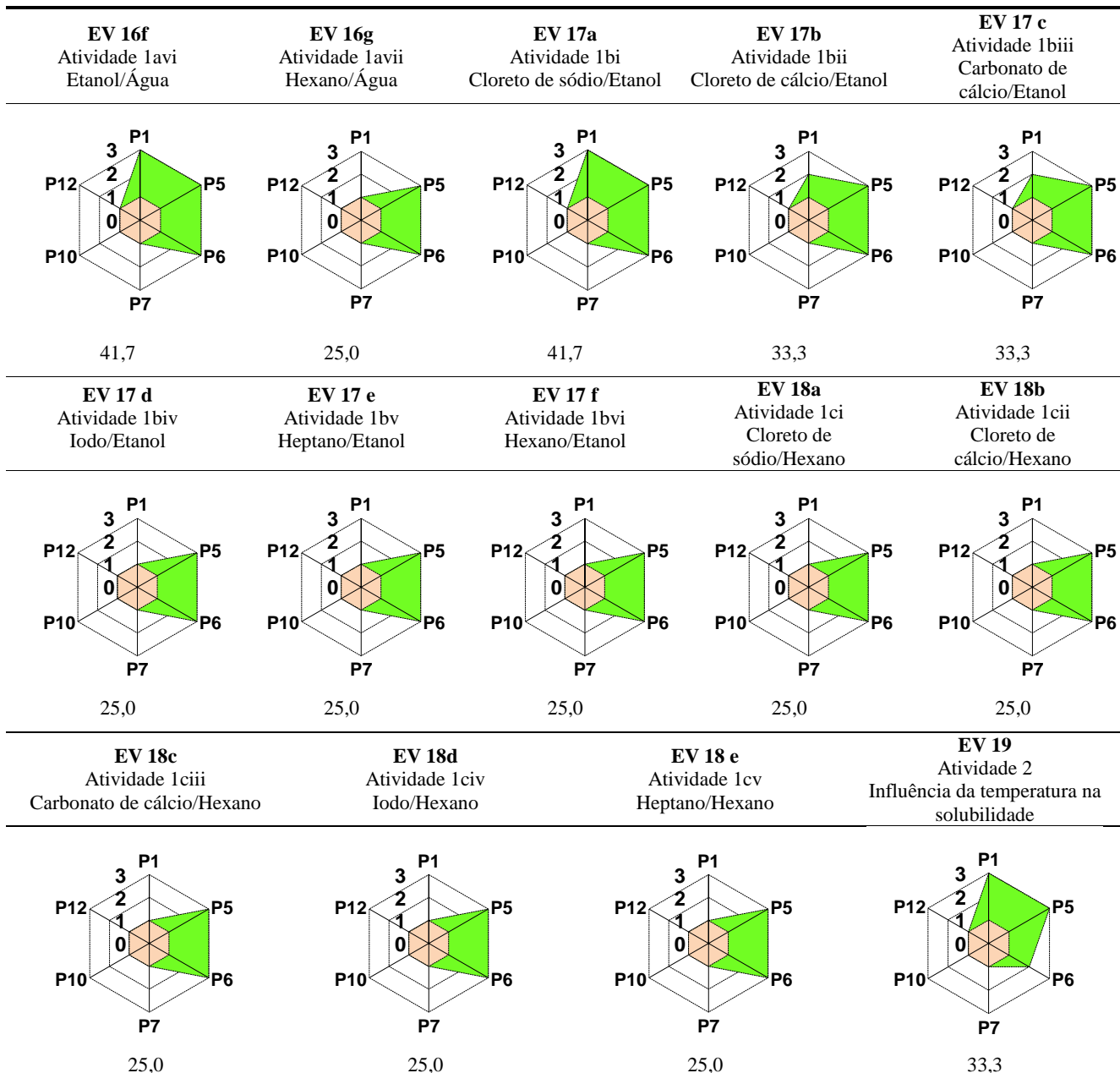


Figura 4.15. EV da AL 2.5 (1avi-2) do 11º Ano (os números por baixo das EV são os respectivos IPE)

Análise das EV

As diversas EV para este grupo, mostram que para todas, o quinto princípio têm a pontuação 3, pois não se utilizam substâncias auxiliares. Para o sexto princípio, todas as atividades, exceto a atividade 2, "influência da temperatura na solubilidade" (EV19), têm a pontuação 3, por as experiências se realizarem à temperatura ambiente. Por outro lado, a pontuação para o sétimo princípio reduz-se sempre a 1, excepto para a atividade 1ai, "solubilidade do cloreto de sódio em água" (EV 16a), pois as substâncias utilizadas não são renováveis. Para o décimo princípio a pontuação reduz-se a 1 para todas as actividades, exceto para as atividades 1ai, "solubilidade do cloreto de sódio em água" (EV1 6a), 1.iii,

“solubilidade do cloreto cálcio em água” (EV 16b) e a atividade 1aiii, “solubilidade do carbonato de cálcio em água” (EV 16c), pois as substâncias utilizadas não são degradáveis em produtos de degradação inócuos. As pontuações para o primeiro e décimo segundo princípios dependem, respetivamente, da benignidade e do risco de acidente químico apresentado pelas diversas substâncias usadas.

Para a atividade 1ai, “solubilidade do cloreto de sódio em água” (EV 16a), a EV apresenta uma área verde máxima, atendendo à benignidade e baixo risco de acidente químico apresentado por este composto, o que implica uma pontuação de 3 para primeiro e décimo segundo princípios. As atividades 1aii e 1aiii, “solubilidade do cloreto de cálcio” (EV 16b) e do “carbonato de cálcio” (EV 16c) em água, a EV apresentam uma área verde superior a 50 %. A pontuação é reduzida a 2 para primeiro e décimo segundo princípios, pois o cloreto de cálcio (Xi) e o carbonato de cálcio (Xi) têm riscos moderados para a saúde.

Para as atividades 1avi – “solubilidade do etanol e água” (EV 16f), e 1bi, “solubilidade do cloreto de sódio em etanol” (EV 17a), as EV apresentam uma área verde menor. Embora a benignidade apresentada pelas substâncias usadas impliquem também uma pontuação de 3 para primeiro princípio, a pontuação é mínima para o décimo segundo princípio, pois o etanol (F) apresenta um risco elevado de acidente, o que provoca nestes casos uma diminuição da área da EV.

Para as atividades 1bii, “solubilidade do cloreto de cálcio em etanol” (EV 17b), 1bii, “solubilidade do carbonato de cálcio em etanol” (EV 17c) e 2, “influência da temperatura na solubilidade” (EV 19), as EV apresentam uma área ainda mais reduzida. Para as atividades 1bii e 1biii a pontuação é reduzida a 2 no que se refere ao primeiro princípio, pois os cloreto de cálcio (Xi) e o carbonato de cálcio (Xi) apresentam um risco moderado para a saúde. Por outro lado, em relação ao décimo segundo princípio a pontuação é reduzida ao mínimo, pois o etanol (F) envolve um risco elevado de acidente. Para a atividade 2, a pontuação é 3 para o primeiro princípio, pois o nitrato de potássio não apresenta riscos para a saúde, mas apresenta um risco elevado de acidente químico (O), o que provoca uma diminuição da pontuação para 1 no décimo segundo princípio.

Para a atividade 1aiv, “solubilidade do iodo em água” (EV 16d), a área verde da EV é muito reduzida. Nesta atividade o risco para a saúde e de acidente químico é moderado, mas o risco para o ambiente do iodo (Xn, N) é elevado e a área verde reduz-se mais, pois a pontuação do primeiro princípio é 1.

As atividades 1av, “solubilidade do heptano em água” (EV 16e), 1avii – “solubilidade do hexano em água” (EV 16g), 1biv, “solubilidade do iodo em etanol” (EV 17d), 1bv, “solubilidade do heptano em etanol” (EV 17e), 1bvi, “solubilidade do hexano em etanol” (EV

16f) e para todas as atividades 1c (EV 18), a área verde reduz-se mais, pois os riscos para o ambiente e de acidente são elevados (heptano, iodo e hexano - N e F), o que leva à redução da pontuação do primeiro e décimo segundo princípios para 1.

Propostas para aumentar a verdura

Seria aconselhável não utilizar o hexano, o iodo e o heptano atendendo aos riscos que apresentam para o ambiente (N). A utilização apenas das outras substâncias parece não colocar em causa os objetivos propostos para a atividade.

4.3.9. AL 2.6 – Dureza da água e problemas de lavagem

Objetivos

Os objetivos propostos no programa para esta atividade são [1]:

- Reconhecer o laboratório como um local de trabalho onde a segurança é fundamental na manipulação com material, reagentes e equipamento.
- Associar dureza total de uma água à presença predominante de iões cálcio e magnésio.
- Classificar uma água em dura, branda ou macia.
- Interpretar a origem da dureza de uma água em termos da natureza dos solos.
- Conhecer processos de minimizar a dureza das águas.

Descrição

Nesta AL estão envolvidas 2 atividades que se apresentam de seguida.

Atividade 1 – Avaliação da dureza da água

Adiciona-se detergente/sabão e champô a diferentes tipos de água e avalia-se a dureza da mistura através da espuma e escuma formadas.

Tipos de água:

- a) água dura preparada juntando cloreto de cálcio a água destilada;
- b) água dura preparada juntando sulfato de magnésio a água destilada;
- c) água destilada usada como água macia.

Atividade 2 – Avaliação da dureza da água amaciada

Adiciona-se carbonato de sódio à água dura remanescente da atividade 1, diminuindo a concentração de iões Ca^{2+} ou Mg^{2+} por precipitação de carbonatos, e avalia-se a dureza da água.

Tipos de água:

- a) água dura preparada juntando cloreto de cálcio a água destilada;

b) água dura preparada juntando sulfato de magnésio a água destilada.

Componentes e pontuações para construir as EV

As informações obtidas para construir as EV são apresentadas nas Tabelas 34 e 35, respetivamente, do anexo III.

Resultados

Na Figura 4.16 apresentam-se as EV e os respetivos IPE, para cada uma das atividades avaliadas.

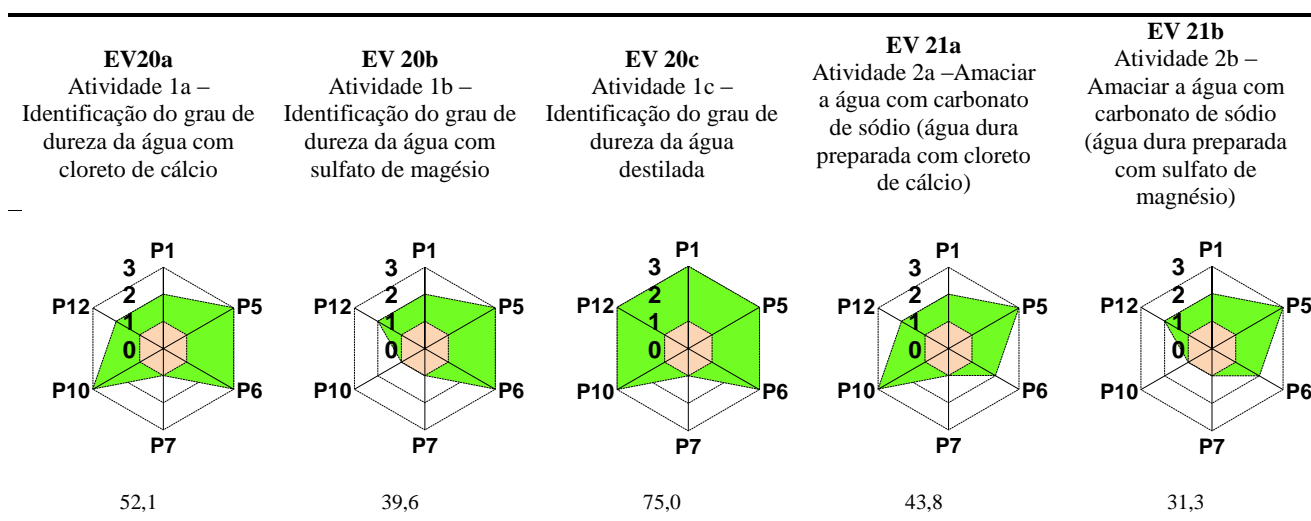


Figura 4.16. EV da AL 2.6 do 11º Ano (os números por baixo das EV são os respetivos IPE)

Análise das EV

As EV para este grupo mostram que, para todas, o quinto princípio têm a pontuação 3, pois não é utilizada nenhuma substância auxiliar. Por outro lado, a pontuação para o sétimo princípio reduz-se sempre a 1, pois as substâncias utilizadas não são renováveis.

A pontuação para o primeiro, décimo e décimo segundo princípios dependem, respetivamente, da benignidade, degradabilidade em produtos inócuos e do risco de acidente químico apresentado pelas diversas substâncias usadas.

Para a atividade 1c, “avaliação da dureza da água destilada” (EV 20c), a EV apresenta uma área verde próxima da máxima, atendendo à benignidade e baixo risco de acidente químico apresentado pelas substâncias, o que implica uma pontuação de 3 para os primeiro e décimo segundo princípios. Para o sexto e décimo princípio a pontuação é máxima, pois a atividade é realizada à temperatura e pressão ambiente e as substâncias são degradáveis (considerou-se um sabão inócuo e degradável), respetivamente. A atividade 1a, “avaliação da dureza da água endurecida com cloreto de cálcio” (EV 20a), a EV apresenta uma área verde

superior a 50 %. A pontuação é máxima para o sexto e décimo princípios, pois a atividade é realizada à temperatura e pressão ambiente e as substâncias são degradáveis. A pontuação é reduzida a 2 para primeiro e décimo segundo princípios, pois o estereato de cálcio (Xi) que é um resíduo, e o cloreto de cálcio (Xi) têm riscos moderados para a saúde.

Para a atividade 2a, “amaciar a água dura preparada com cloreto de cálcio” (EV21a), a EV apresenta uma área verde menor. Embora a degradabilidade apresentada pelas substâncias usadas implique uma pontuação de 3 para quinto princípio, a pontuação é reduzida a 2 para o primeiro e o décimo segundo princípio, pois as substâncias envolvidas, estereato de cálcio (Xi) e carbonato de sódio (Xi), apresentam um risco moderado para a saúde e de acidente. Para o sexto princípio a pontuação é reduzida a 2, pois é necessário aquecer, o que provoca nestes casos uma diminuição da área da EV.

Para a atividade 1b, “avaliação da dureza da água endurecida com sulfato de magnésio” (EV 20b), a EV apresenta uma área ainda mais reduzida. A pontuação é máxima no que se refere ao sexto princípio, pois a actividade é realizada à temperatura e pressão ambiente, mas a pontuação é reduzida a 2 no que se refere ao primeiro e décimo segundo princípios, pois o esterato de magnésio (Xi) apresenta um risco moderado para a saúde. Por outro lado, em relação ao décimo princípio a pontuação é reduzida ao mínimo, pois as substâncias utilizadas não são degradáveis em produtos de degradação inócuos.

Para a atividade 2b, “amaciar a água dura preparada com sulfato de magnésio” (EV21b), a área verde da EV reduz-se mais, pois em relação à actividade referida anteriormente a pontuação é reduzida a 2 no sexto principio, porque é necessário realizar um aquecimento.

Propostas para aumentar a verdura

Seria recomendável utilizar apenas a água endurecida com o cloreto de cálcio, uma vez que a atividade que utiliza a água endurecida com o sulfato de magnésio apresenta um menor grau de verdura.

4.3.10. Discussão dos resultados

No gráfico da Figura 4.17 resumem-se os resultados obtidos na análise anterior mediante uma distribuição da frequência das experiências em função do respetivo IPE. O gráfico mostra que 79% (49 em 62) das atividades laboratoriais do 11º ano apresentaram uma verdura baixa (IPE<50), o que aponta para a necessidade de sua revisão.

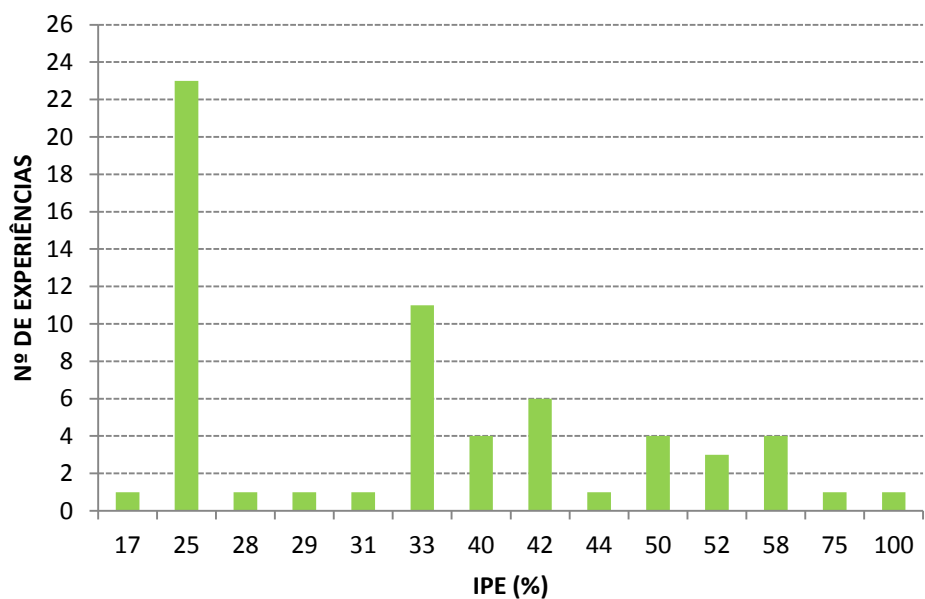


Figura 4.17. Frequência das experiências em função do IPE para o 11º Ano

4.4. Círculo verde

O CV é uma métrica gráfica que consiste num círculo dividido em tantos sectores quantos os princípios avaliados, coloridos de verde ou vermelho conforme os respetivos princípios são ou não cumpridos, segundo os critérios apresentados na Tabela 4.3.

Na Tabela 4.4 apresentam-se os critérios para avaliar os riscos para a saúde, ambiente e de acidente químico devido às substâncias envolvidas, usados na avaliação do cumprimento dos princípios P1, P3, P5, P9 e P12.

Tabela 4.3. Critérios para avaliação do cumprimento dos Princípios da QV na construção do CV

Princípio da Química Verde	Critérios
P1 – Prevenção	Não se formam resíduos, ou quando se formam têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente
P2 - Economia atômica	Reações sem reagentes em excesso ($\leq 10\%$) e sem formação de coprodutos (não se considera a água)
P3 – Sínteses menos perigosas	Todas as substâncias envolvidas são inócuas ou têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	Não se utilizam solventes nem outras substâncias auxiliares, ou quando se utilizam têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	Pressão e temperatura ambientais
P7 – Uso de matérias primas renováveis	Todos os reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos são renováveis
P8 – Redução de derivatizações	Não se utilizam derivatizações
P9 – Catalisadores	Catalisadores não necessários ou têm riscos baixos para a saúde e para o ambiente
P10 – Planificação para a degradação	Todos os reagentes, produtos, etc., são degradáveis com os produtos de degradação inócuos
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	As substâncias envolvidas têm um risco baixo de acidente químico

Tabela 4.4. Critérios para avaliar os riscos para a saúde, ambiente e de acidente químico devido às substâncias envolvidas

Riscos para a saúde e ambiente devido às substâncias envolvidas		
Riscos	Símbolos de risco	Classificação
Saúde	C - corrosivo T - tóxico T+ - muito tóxico	elevado
	Xn - prejudicial Xi - irritante	moderado
	Nenhuma indicação	baixo
Ambiente	N - perigoso para o ambiente	elevado
	Nenhuma indicação	baixo
Riscos de acidente químico devido às substâncias envolvidas		
Riscos	Símbolos de risco	Pontuação
Saúde	C - corrosivo T - tóxico T+ - muito tóxico	elevado
	Xi - irritante Xn - prejudicial	moderado
	Nenhuma indicação	baixo
Inflamabilidade	F - muito inflamável F+ - extremamente inflamável	elevado
	Nenhuma indicação	baixo
Reatividade	E - explosivo	elevado
	O - agente oxidante	elevado
	Nenhuma indicação	baixo

É ainda possível associar um Índice de Cumprimento dos Princípios (ICP) calculado como a percentagem de princípios cumpridos ($100 \times \text{número de princípios cumpridos} / \text{número total de princípios que se aplicam}$).

4.4.1. Atividades laboratoriais avaliadas do 10º Ano utilizando o CV

Nas Figuras 4.18 a 4.21 apresenta-se as EV em comparação com os CV para cada uma das atividades laboratoriais do 10º ano.

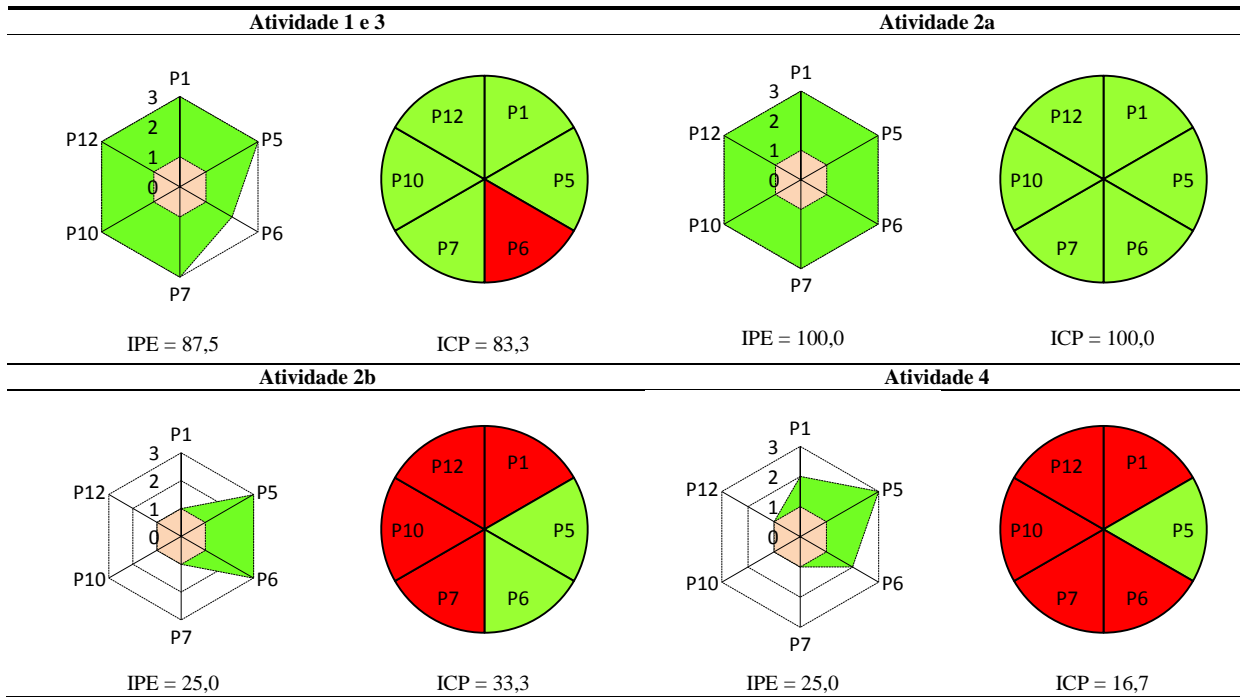


Figura 4.18. EV e CV da AL 0.1 do 10º Ano

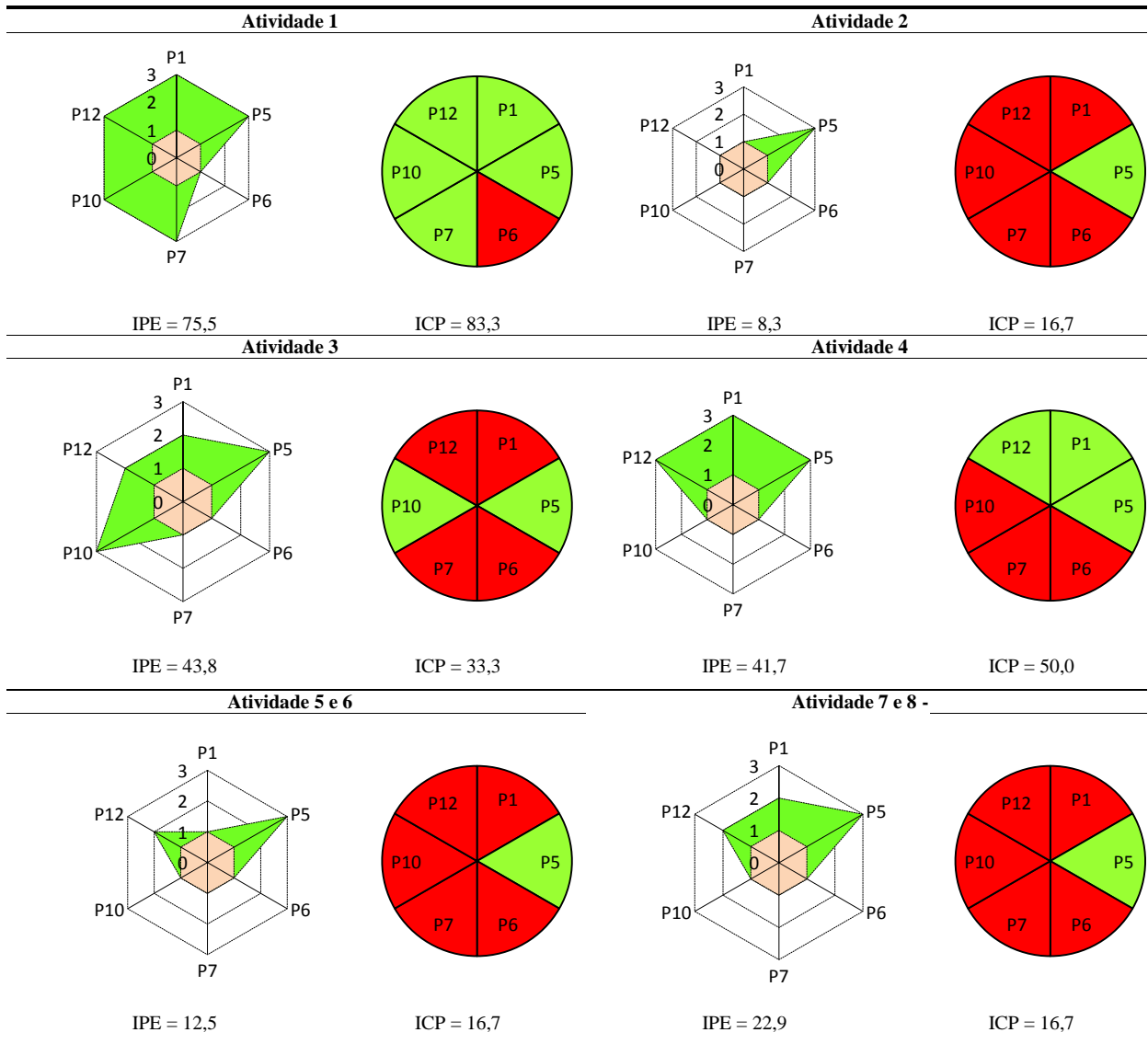


Figura 4.19. EV e CV da AL 1.2 do 10º Ano

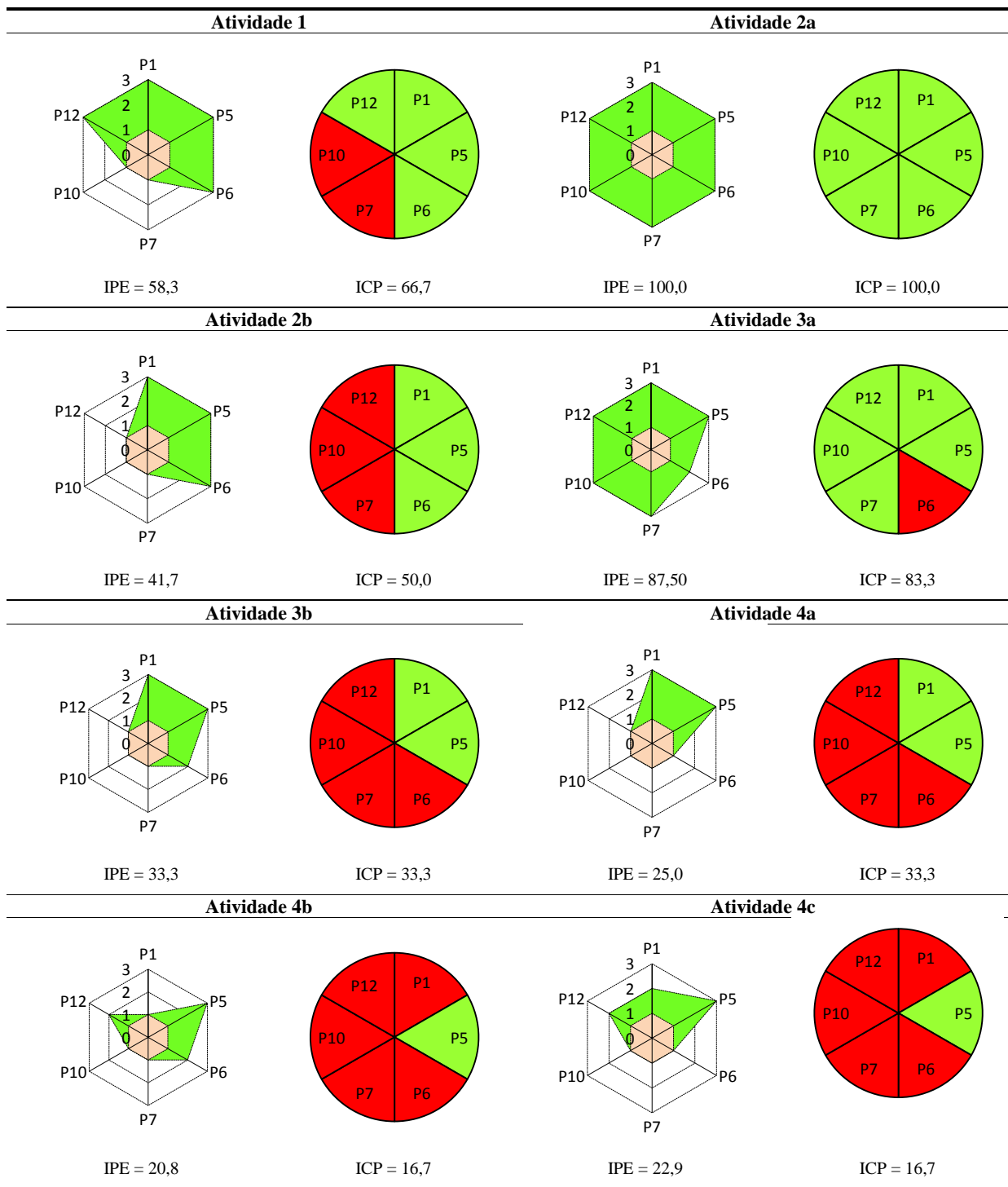


Figura 4.20. EV e CV da AL 1.3 do 10º Ano

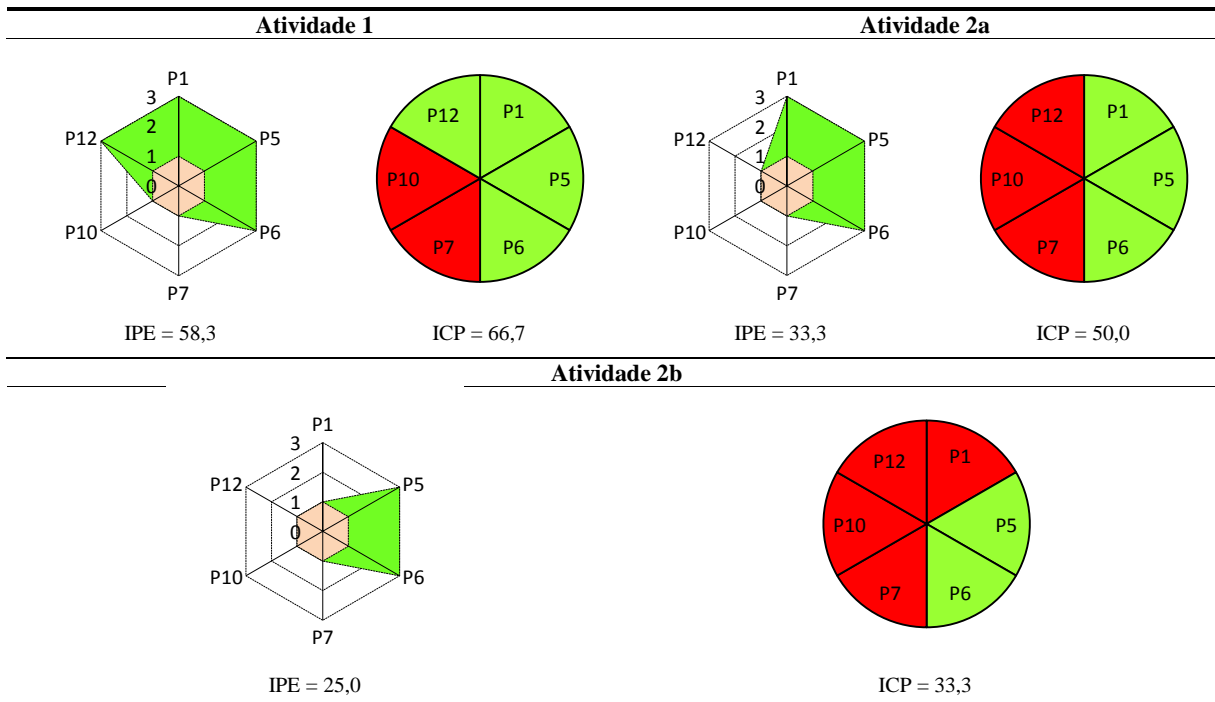


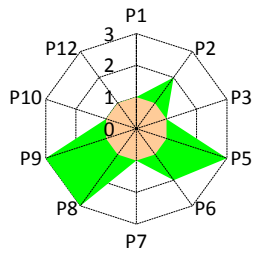
Figura 4.21. EV e CV da AL 2.1 do 10º Ano

4.4.2. Atividades laboratoriais avaliadas do 11º Ano utilizando o CV

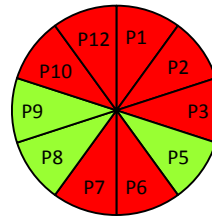
Nas Figuras 4.22 a 4.30 apresenta-se as EV em comparação com os CV para cada uma das atividades laboratoriais do 11º ano.



Figura 4.22. EV e CV da AL 1.1 do 11º Ano



IPE = 27,5

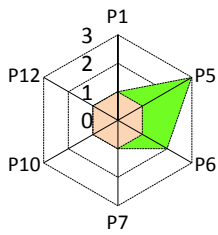


ICP = 30,0

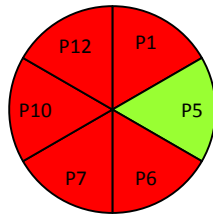
Figura 4.23. EV e CV da AL 1.2 do 11º Ano

AL 1.3 Atividade 1

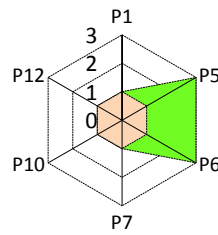
AL 1.3 Atividade 2



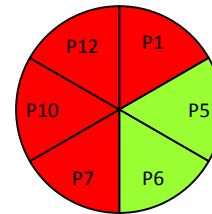
IPE = 16,7



ICP = 16,7



IPE = 25,0



ICP = 33,3

Figura 4.24. EV e CV da AL 1.3 do 11º Ano

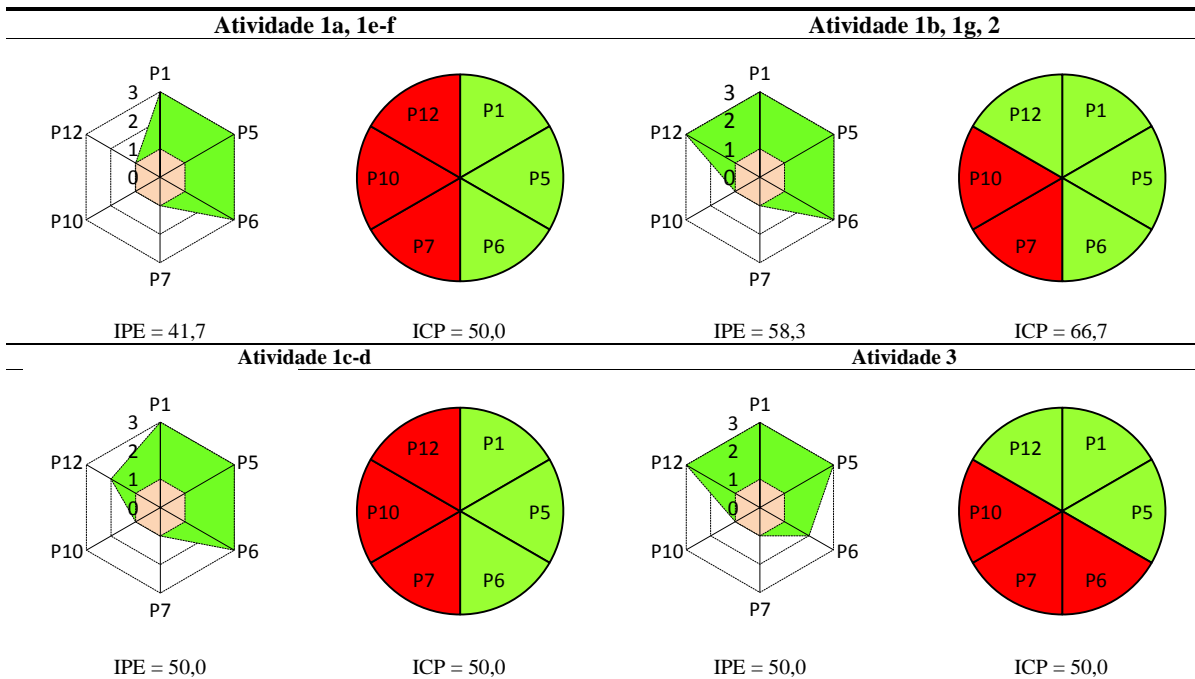


Figura 4.25. EV e CV da AL 2.1 do 11º Ano

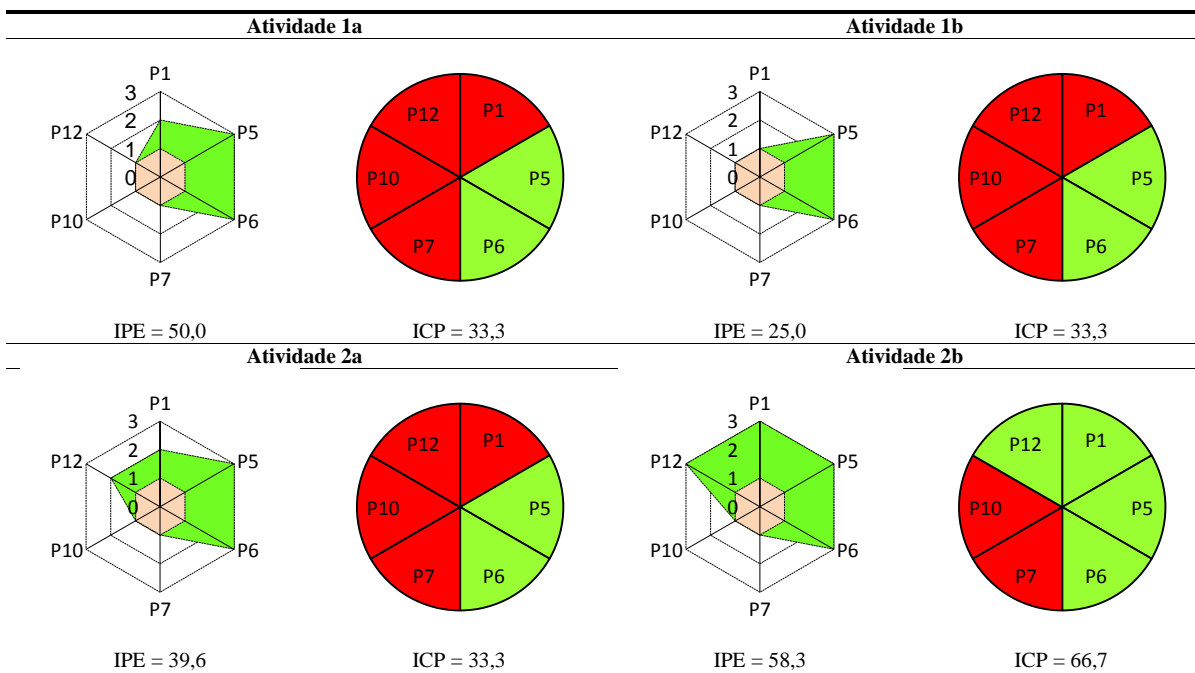


Figura 4.26. EV e CV da AL 2.2 do 11º Ano

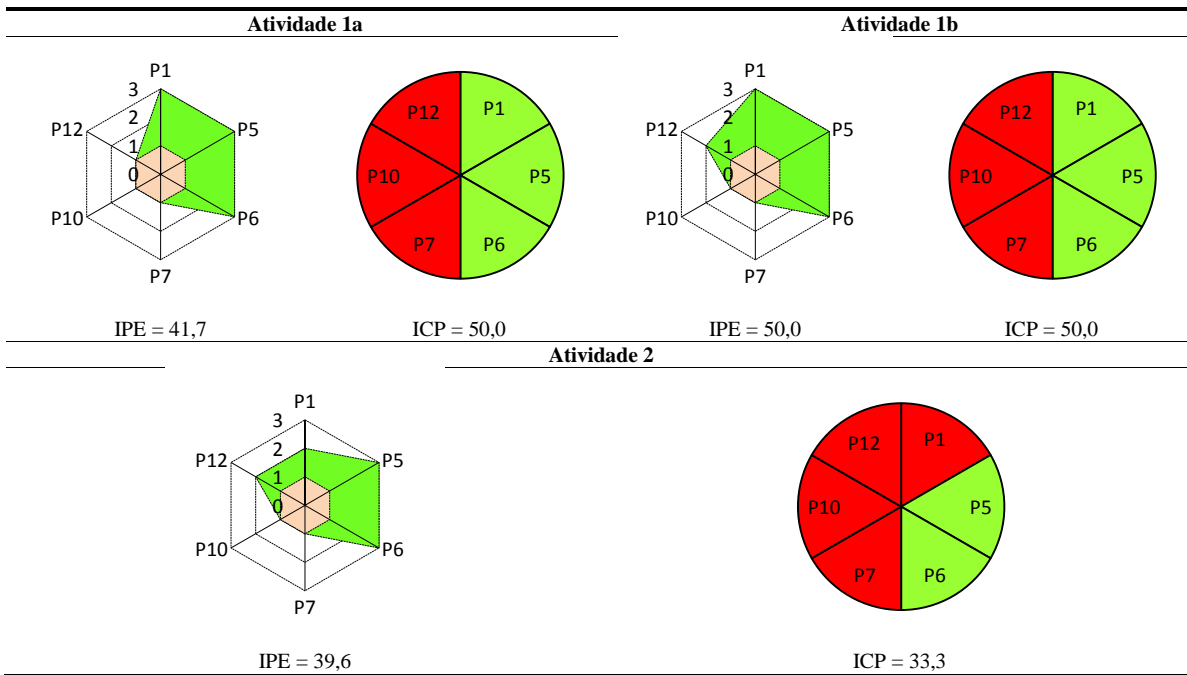


Figura 4.27. EV e CV da AL 2.3 do 11º Ano

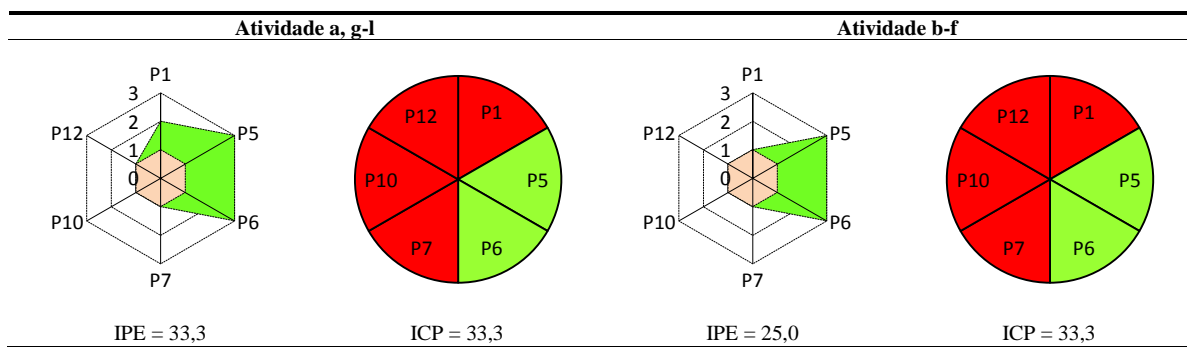


Figura 4.28. EV e CV da AL 2.4 do 11º Ano

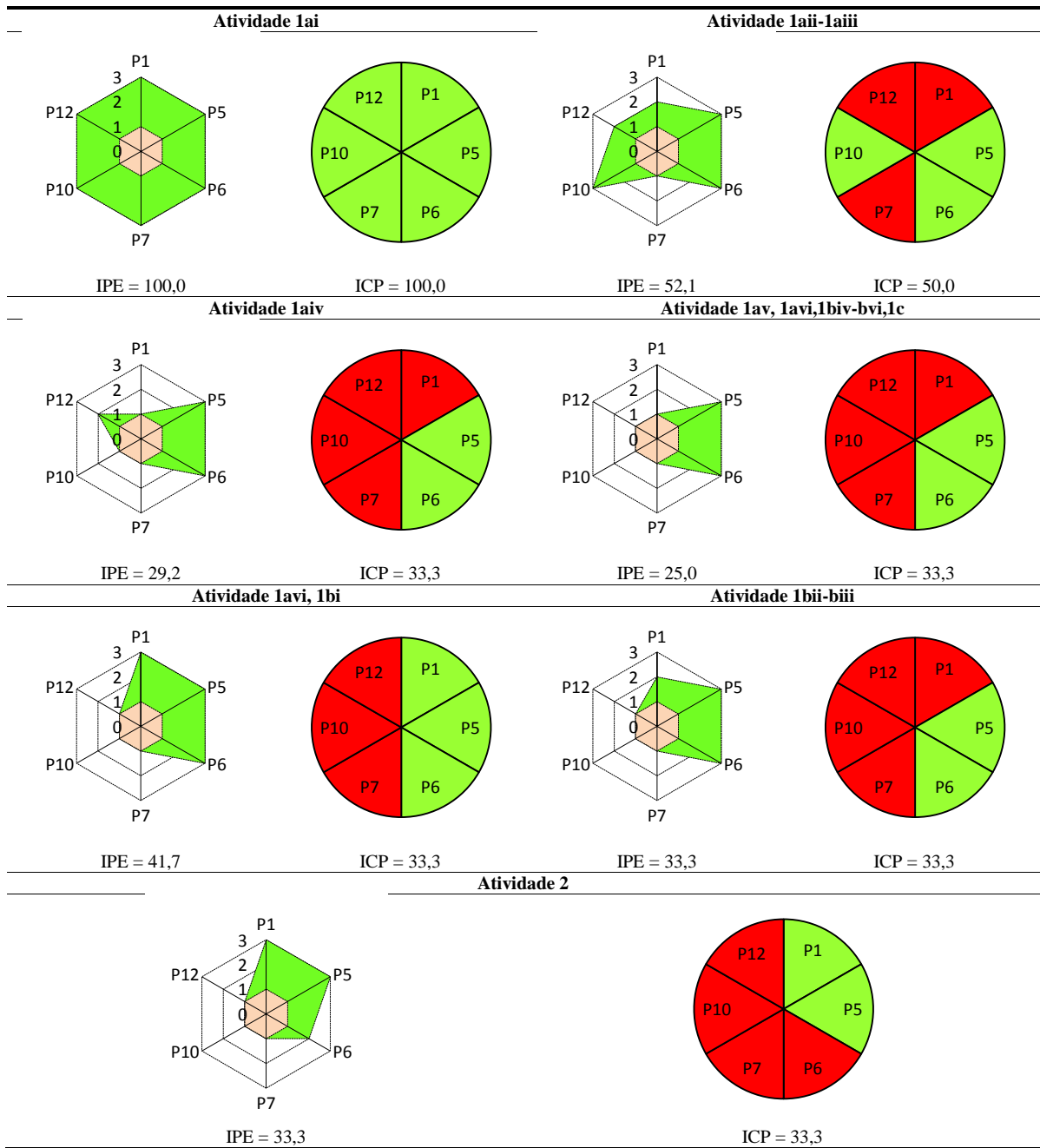


Figura 4.29. EV e CV da AL 2.5 do 11º Ano

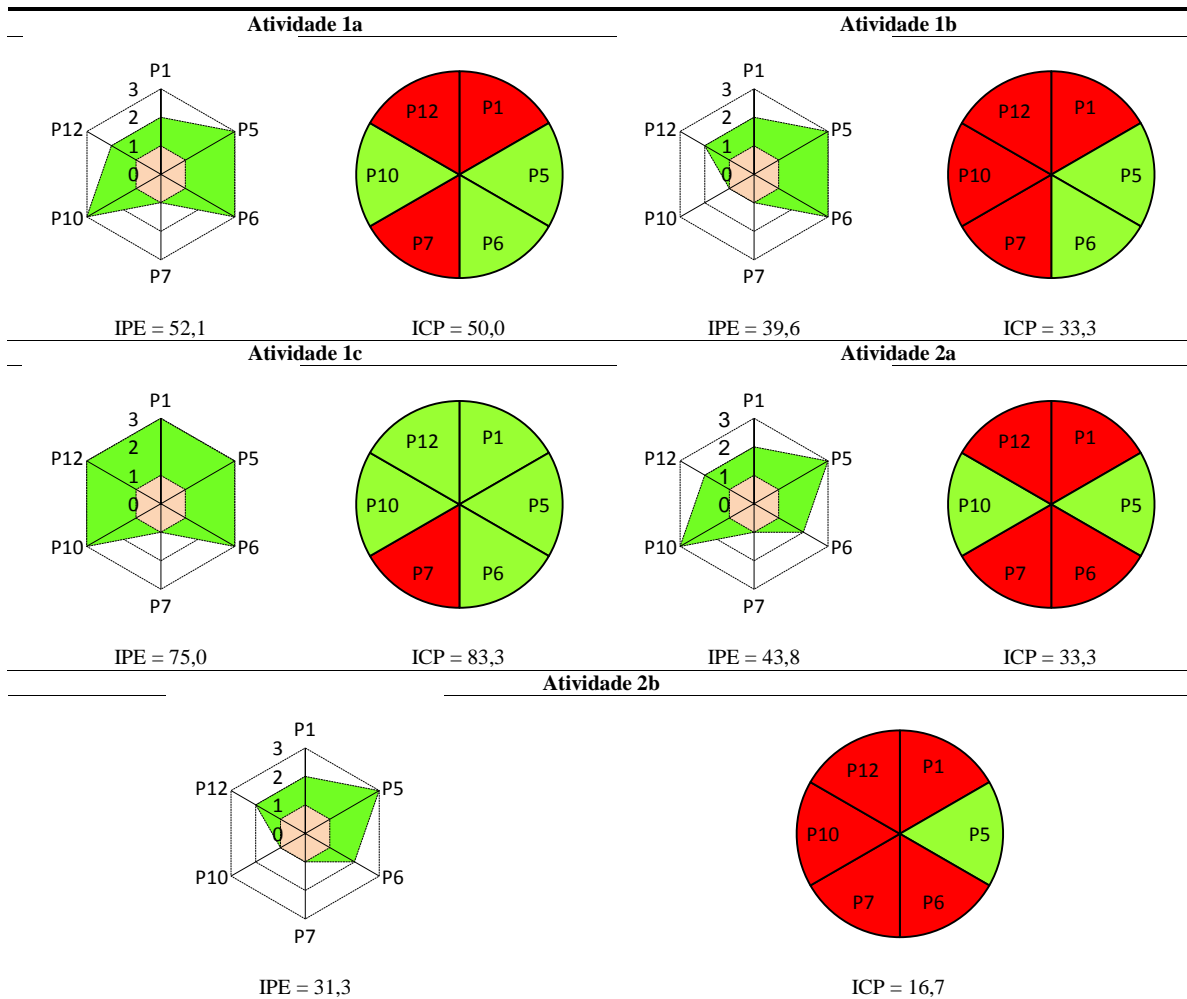


Figura 4.30. EV e CV da AL 2.6 do 11º Ano

4.4.3. Discussão dos resultados

Os resultados obtidos utilizando o CV são semelhantes aos obtidos utilizando a EV. De acordo com os critérios estabelecidos, verificou-se que quando se compara a verdura avaliada pelo CV com a EV, os princípios cumpridos (a verde, nos gráficos circulares) correspondem aos princípios pontuados com 3 na EV. Os princípios que são parcialmente cumpridos aparecem nos CV como não cumpridos (a vermelho) e com pontuações 1, ou 2 na EV. Estas diferenças devem-se a que os critérios definidos para o cumprimento dos princípios (critérios do tipo binário – cumprimento/não cumprimento de cada princípio, Tabela 4.3) para os CV correspondem, no caso da EV, à pontuação 3. Mas para as EV existem outros dois níveis de cumprimento dos princípios (capítulo 3), daí a EV permitir uma avaliação mais rigorosa.

O CV, atendendo à facilidade de construção, com critérios de cumprimento dos princípios só com dois níveis, pode ser útil para uma avaliação prévia da verdura de uma

reação química/processo, permitindo tal como a EV, identificar aspetos a alterar e os efeitos dessas alterações na verdura, sem ser necessário realizar as experiências. Para além disso, permite familiarizar os alunos com os Doze Princípios da QV e com as métricas holísticas e a sua importância. No entanto, não é sensível a todos os melhoramentos que possam ser introduzidos, pois não permite identificar diferentes níveis de cumprimento dos princípios como permite a EV. Pode-se então concluir que a EV é uma métrica mais completa, como tal, as conclusões deste capítulo têm por base os resultados das EV.

4.5. Conclusões

Os resultados obtidos na análise das atividades laboratoriais para o 10º e 11º anos são resumidos nos gráficos das Figuras 4.31 e 4.32, mediante a distribuição da frequência das experiências em função do respetivo IPE, e no gráfico da Figura 4.33 em função dos riscos para a saúde e ambiente, e de acidente.

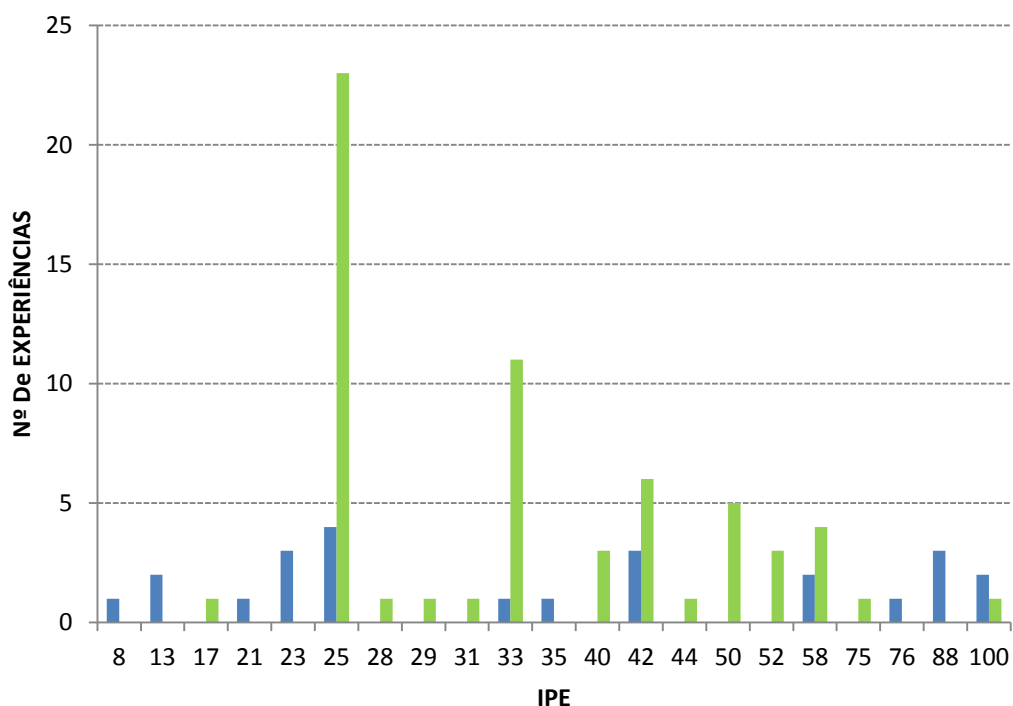


Figura 4.31. Frequência das experiências em função do IPE: ■AL 10º Ano, ■AL 11º Ano.

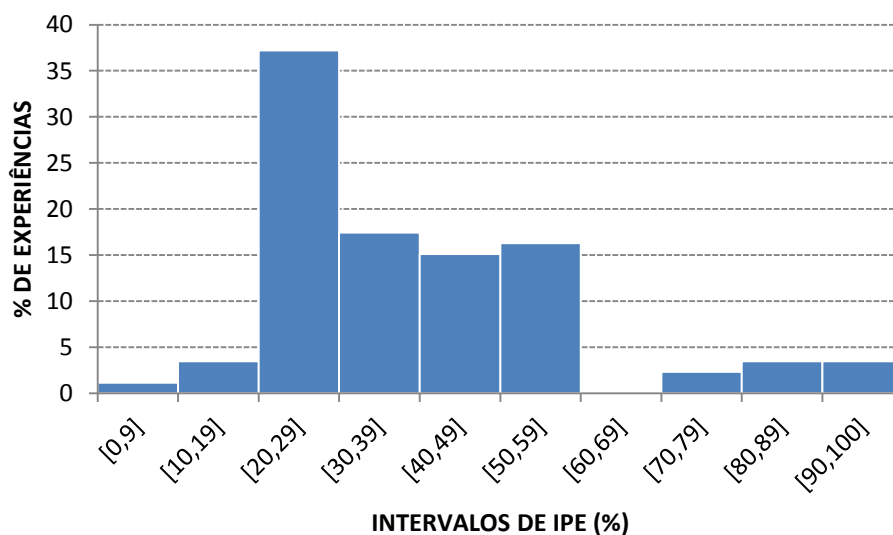


Figura 4.32. Distribuição da frequência do conjunto das experiências do 10º e 11º Anos em função do IPE.

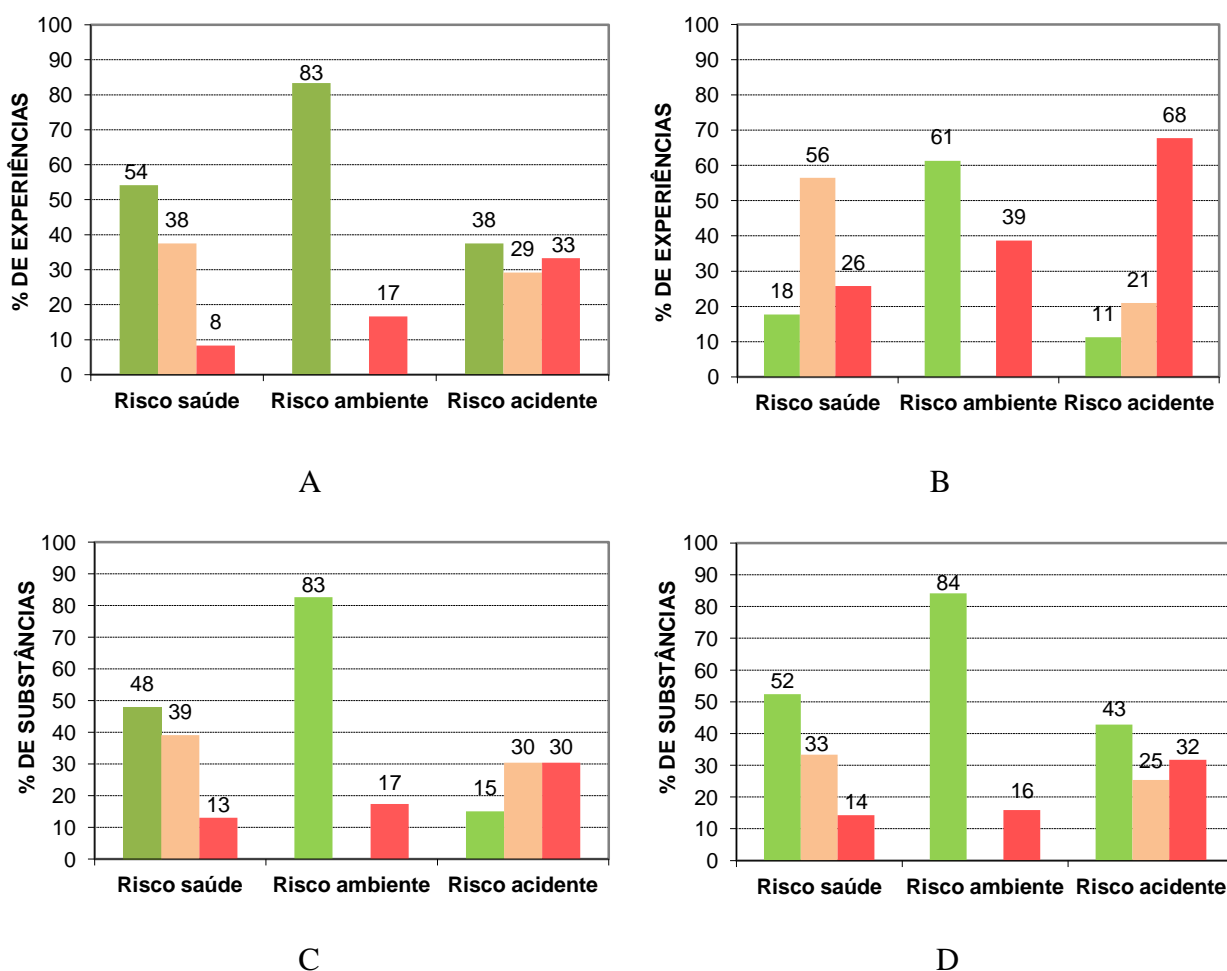


Figura 4.33. Percentagem de experiências (A, B) e de substâncias (C, D) em função dos riscos para a saúde e ambiente e de acidente: (A, C) 10º Ano, (B, D) 11º Ano; ■ Sem Risco, ■ Risco Moderado, ■ Risco Elevado.

Os resultados indicam que a maior parte das experiências em ambos os anos apresentam uma verdura limitada (IPE<50): cerca de 67% (16 em 24) das atividades laboratoriais do 10º ano e 79% (49 em 62) do 11º ano, estão nessas condições. Verifica-se ainda que cerca de 75% no conjunto das atividades dos dois anos apresentam valores de IPE menores que 50, e 38% valores entre 20 e 29. Relativamente aos riscos que as experiências envolvem e considerando só experiências com riscos elevados, verifica-se que, para o 10º ano (Figura 4.33A), 8% das experiências apresentam riscos elevados para a saúde, 17% para o ambiente e 33% de acidente, sendo os valores ainda mais elevados para o 11º ano (Figura 4.33B), respetivamente 26%, 39% e 68%. É de referir que nas instituições de Ensino Público Não Superior não é habitual qualquer tipo de acordo com empresas de recolha de resíduos, pelo que o destino dos mesmos acaba por ser o meio ambiente. Por isso, é preocupante a utilização de substâncias com riscos elevados: no 10º ano (Figura 4.33C), 13% das substâncias usadas apresentam riscos elevados para a saúde, 17% para o ambiente e 30% de acidente, sendo os valores semelhantes para o 11º ano (Figura 4.33D), respetivamente 14%, 16% e 32%. As substâncias com riscos elevados para a saúde (símbolos de rotulagem T, T⁺, C) e para o ambiente (N) devem ser eliminadas nas atividades laboratoriais realizadas em contexto escolar. A utilização de substâncias inócuas nos laboratórios de ensino tem importantes implicações nos custos de montagem e operação destes, permitindo, nomeadamente, a sua construção sem “hottes”, uma atitude praticada com êxito pela Universidade de Oregon, EUA, no âmbito do seu projeto de desenvolvimento do ensino da QV [4]. O embaratecimento dos custos dos laboratórios das escolas secundárias arrastará como consequência o facilitar da realização de experiências de Química, que poderão ser feitas em maior número pelos alunos – o que é importante para despertar maior interesse pela Química por parte destes e incentivá-los a seguir cursos de Química. A este respeito, é interessante notar que um artigo recente [5] refere a importância de embutir verdura nas caixas de experiências (“quits”) de Química usadas quer como brinquedos, consideradas muito importantes no despertar de vocações para a Química, quer também na “educação a distância” por alunos que estudam em casa [6].

Lateralmente, é de lamentar que no conjunto das disciplinas de Física e Química (FQ) dos 10º e 11º anos apenas seja realizada uma síntese, pois os alunos terminam o Ensino Secundário quer sem praticarem mais trabalho deste tipo, quer sem sedimentarem a noção de que as reações de síntese são o âmago da Química do mundo real, nomeadamente da Química real praticada pela Indústria Química – são estas reações que contribuem para grande parte do valor acrescentado dos produtos químicos. As técnicas laboratoriais, que monopolizam

presentemente as atividades de laboratório propostas, podem ser facilmente integradas em experiências de Química preparativa. Os programas da disciplina de Técnicas Laboratoriais de Química [7], blocos 1 (TLQ1) e 2 (TLQ2) lecionados nos 10º e 11º anos, eliminada aquando da reestruturação curricular que deu origem aos atuais programas, previam treze sínteses. Infelizmente, não houve a preocupação de transferir para a disciplina de Física e Química esta valorização das atividades de síntese, criando-se uma situação de *colapso químico*, evidenciado pela Figura 4.34. Esta situação mostra a falta de cuidado com que têm sido tratados os programas de Química do Ensino Secundário quando as autoridades responsáveis decidem remexê-los (palavra adequada aos programas de Química, mas possivelmente também válida para os das outras disciplinas!).

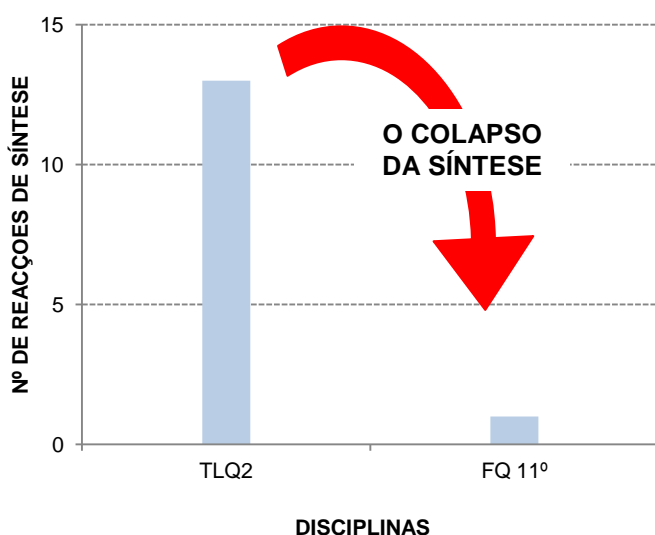


Figura 4.34. O colapso da síntese no Ensino Secundário: distribuição das reações de síntese por disciplina (os programas das disciplinas TLQ1 e FQ10 não envolviam sínteses; as TLQ que acompanhavam aqueles programas foram banidas).

A análise conjunta das atividades laboratoriais do 10º e 11º anos mostra que uma parte significativa das experiências apresenta uma vertente limitada, o que releva a importância das facetas da segurança incorporadas na QV para o ensino laboratorial da Química. Sem preocupação de exaustividade, na Tabela 4.5 apresentam-se alguns aspetos a que se deve atender para introduzir a QV no ensino da Química e evitar as limitações que os programas atuais apresentam. A Tabela 4.5 evidencia que a maioria desses aspetos é praticamente ignorada nos programas atuais.

Tabela 4.5. Incorporação da QV no ensino da Química

Aspetos a considerar para o ensino da QV	Limitações dos programas atuais
Princípios da QV [8]	Omissos nos programas em vigor
Análise da verdura, em sentido amplo, das atividades laboratoriais [2, 9-11]	Os programas limitam-se a referir, em alguns casos, o manuseamento seguro dos reagentes (os resíduos produzidos são ignorados)
Cálculo de métricas de produtividade química (métricas de massa) [12] e ambientais, [13, 14]	Calcula-se simplesmente o rendimento
Química real da Indústria Química, incluindo sínteses onde as técnicas laboratoriais podem ser incluídas	As referências à Indústria Química são inconsistentes e não envolvem a perspetiva da Sustentabilidade
Papel fulcral dos químicos na resolução dos problemas da degradação do ambiente	Omissos nos programas em vigor
Realização de trabalho laboratorial, incluindo sínteses, a microescala	A microescala é proposta em alguns casos, limitando-se porém à Química de gotas

O presente estudo evidencia limitações das atividades laboratoriais realizadas nos 10º e 11º anos do Ensino Secundário que podem ser naturalmente resolvidas se for adotada a postura da QV. No entanto, a assunção desta nos programas de ensino da Química do Secundário tem interesse muito mais lato, pois potenciará múltiplas contribuições: trazer para o Ensino Superior alunos mais sensibilizados para as questões da Sustentabilidade e a sentirem a necessidade de aprender as chamadas “competências verdes” [15]; formar cidadãos mais conscientes da necessidade de mudanças tecnológicas e societárias para dirigir a civilização industrial para o Desenvolvimento Sustentável; bem como mais alertados para a importância ambiental e societal da Química, que impõe presentemente uma alteração significativa no estilo de implementação da Química Industrial, para a qual a QV é uma agente importante. Na realidade, a Química está envolvida, de uma maneira ou doutra, no desenvolvimento de praticamente toda a tecnologia, pelo que a QV é fulcral para a tecnologia verde – que é essencial para se conseguir dar resposta positiva a uma das questões fundamentais do Desenvolvimento Sustentável: “Pode uma qualidade de vida aceitável da população humana sobre a Terra ser conseguida no âmbito da civilização industrial, isto é, com base em tecnologia suportada sustentadamente nos recursos naturais do nosso planeta?”

4.6. Bibliografia

1. DGIDC Web: http://sitio.dgidc.min-edu.pt/secundario/paginas/programas_es_f.aspx (Direcção Geral de Inovação e Desenvolvimento Curricular, acedido em Junho 2011)
2. D. A. Costa, M. G. T. C. Ribeiro, A. A. S. C. Machado, Análise da Verdura das Actividades Laboratoriais do 10º ano do Ensino Secundário, *Boletim S. P. Q.* **115** (2009) 41-49.
3. D. A. Costa, M. G. T. C. Ribeiro, A. A. S. C. Machado, Análise da Verdura das Actividades Laboratoriais do 11º ano do Ensino Secundário, *Boletim S. P. Q.* aceite.
4. Web: <http://www.djc.com/news/en/11135656.html> (Environmental Outlook 2002, acedido em Fevereiro 2011)
5. Y. I. Gonzalez, “A Green Clean Curriculum to Instruct Homeschoolers on the Safe Handling of Chemicals”, *J. Chem. Health Saf.* **16** (2004) 12-17.
6. D. Hoolem M. Sithambaresan, “Analytical Chemistry Labs with Kits and Cd-Based Instructions as Teaching Aids for Distance Learning”, *J. Chem. Ed.* **80** (2003) 1308-1310.
7. Programas de Técnicas Laboratoriais de Química Blocos I e II, Ministério da Educação, Gabinete de Educação Tecnológica, Artística e Profissional, Porto, 1992.
8. A. A. S. C. Machado, Química e Desenvolvimento Sustentável, *Boletim S. P. Q.* **95** (2004) 59-67.
9. M. G. T. C. Ribeiro, D. A. Costa, A. A. S. C. Machado, Uma Métrica Gráfica para Avaliação Holística da Verdura de Reacções Laboratoriais – “Estrela Verde”, *Química Nova* **33** (2010) 759-764.
10. M. G. T. C. Ribeiro, D. A. Costa, A. A. S. C. Machado, “Green Star”: a Holistic Green Chemistry Metric for Evaluation of Teaching Laboratory Experiments, *Green Chem. Lett. and Rev.* **3** (2010) 149-159.
11. M. G. T. C. Ribeiro, A. A. S. C. Machado, Metal Acetylacetonates’ Synthesis Experiments – Which is Greener?, *J. Chem. Ed.*, **88** (2011) 947-953
12. A. A. S. C. Machado, Métricas da Química Verde – A Produtividade Atómica, *Boletim S. P. Q.* **107** (2007) 47-55.
13. R. A. Frosch (ed.), *Industrial Environmental Performance Metrics – Challenges and Opportunities*, National Academy Press, Washington, 1999.
14. D. T. Allen e D. R. Shonnard, *Green Engineering – Environmentally Conscious Design of Chemical Processes*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, 2002.

15. European Centre for the Development of Vocational Training (CEDEFOP), Skills for Green Jobs, European Synthesis Report, UE, 2010.

CAPÍTULO 5

AVALIAÇÃO DA VERTENTE CTSS DAS EXPERIÊNCIAS PROPOSTAS NO CURRÍCULO DE QUÍMICA DO 10º E 11º ANOS DO ENSINO SECUNDÁRIO

5.1. Introdução - Breve abordagem sobre o paradigma CTSS

O movimento CTS, “Ciência-Tecnologia-Sociedade”, prescreve que o ensino da ciência e tecnologia deva atender ao contexto cultural, social, económico e político em que as atividades de ciência e tecnologia são desenvolvidas, com vista a proporcionar aos estudantes formação que lhes permita compreender o impacto das mesmas no mundo real, na vida diária e na sociedade, e serem capazes de tomar decisões responsáveis sobre as variadas questões que, como cidadãos e/ou profissionais, lhes serão postas ao longo da vida nestes campos [1].

A Ciência e a Tecnologia são atividades diferentes: a Ciência observa o mundo (“observação”) e faz experiências (“experimentação”) com o objetivo de obter (“descobrir”) conhecimento ordenado sobre ele; a Tecnologia concebe e cria (“inventa”) objetos artificiais que acrescenta ao mundo para facilitar a vida à espécie humana – por isso, em geral, é concretizada em resposta a necessidades humanas ou sociais. Presentemente, a Tecnologia consiste, quase sempre, na aplicação do conhecimento científico – por isso, a Ciência e a Tecnologia sobrepõem-se parcialmente (às vezes, bastante), constituindo o que às vezes se chama Tecnociência. Mas o facto de a Tecnologia ter emergido muito mais cedo do que a Ciência ao longo do desenvolvimento da civilização – no início, houve Tecnologia sem Ciência! – mostra desde logo que as duas atividades são distintas. A concretização da Tecnologia pela Engenharia é uma atividade de criação de artefactos úteis para o Homem, sujeita a constrições do mundo real e feita a partir do conhecimento disponível (que, ele próprio, também pode constituir uma constrição!) – sem necessariamente procurar aumentar o conhecimento de base. Esta atividade tecnológica também aproveita à Ciência – os equipamentos de observação e medição, criados pela tecnologia, foram e continuam a ser fundamentais para o progresso da Ciência. Por outro lado, a Ciência e a Tecnologia podem ser usadas para monitorizar a qualidade do ambiente, impedir a sua deterioração e, em casos favoráveis, recuperar o seu nível de qualidade. O conhecimento científico e tecnológico permitiu à Sociedade desenvolver, a partir dos anos sessenta do século XX, com a emersão do moderno Ambientalismo, uma atitude a favor da conservação do Ambiente. Neste contexto, o

movimento CTS incorporou uma componente ambiental quase logo desde o seu lançamento – e, ocasionalmente, mas nem sempre, foi-lhe acrescentado o A de “Ambiente” e passou a CTSA, “Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente”, pelo que as duas designações e siglas tendem a ser usadas indiferenciadamente, como referido em uma recente revisão da literatura [2].

Na situação atual, em que decorre a década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS) da UNESCO (2004-2015) [3] e é cada vez mais importante que a Tecnologia evolua no sentido de contribuir para este [4], do qual é um ingrediente fulcral, a postura CTS/CTSA deve adquirir explicitamente esta componente e evoluir para Ciência-Tecnologia-Sociedade-Sustentabilidade – o que pede uma sigla alternativa mais adequada, CTSS ou, em estilo de fórmula química, CTS_2 . Esta perspetiva para o ensino científico-tecnológico dá relevância à Sustentabilidade, que tem de ser conquistada mediante contribuições inovatórias de dois tipos: por um lado, resultantes quer da Ciência e quer da Tecnologia, que permitam a implementação da Engenharia da Sustentabilidade; por outro, de reorganização da Sociedade, mediante alterações do comportamento humano, individual e coletivo, a que os cientistas e tecnólogos devem estar atentos porque podem ser potenciados pelo progresso tecnológico. Em suma, o enquadramento do ensino científico-tecnológico no paradigma da Sustentabilidade pressiona que passe a ser feito na postura CTSS.

No caso particular da Química, como os produtos químicos são imprescindíveis para obter qualidade de vida e a sua produção tem de aumentar para eliminar a pobreza química [5], tem de evoluir no sentido de a Química Industrial se integrar no Desenvolvimento Sustentável e poder contribuir para este. A evolução requerida significa produzir maiores quantidades de produtos químicos, mas simultaneamente propiciar menos poluição, resíduos, etc., e consumir menos recursos naturais (energia e materiais) – estes são objetivos da Química Verde. Para que o ensino desta possibilite aos alunos uma melhor integração no paradigma da Sustentabilidade, em face do que foi dito acima, parece natural que seja feito no quadro da CTSS.

5.2. Objetivos

Os atuais programas para o ensino da Física e da Química no Ensino Secundário referem, na sua apresentação, a opção pela “educação CTS” [6]. Por outro lado, uma análise da veracidade das atividades laboratoriais propostas nos programas de Química do Ensino Secundário descrita no capítulo anterior [7,8], evidenciou que a maior parte das respetivas experiências apresentam uma veracidade limitada e que uma fração considerável delas apresenta

riscos elevados devido ao uso de substâncias perigosas (cerca de 30% das substâncias usadas). Estes factos levantam a questão de averiguar até que ponto os programas se integram na postura CTSS, um contexto mais atual que o da CTS. Assim, na sequência do trabalho anterior [7,8], decidiu fazer-se incidir uma avaliação sobre as referidas atividades no sentido de averiguar se a postura CTSS era cumprida ou não. A análise deste objetivo permitiu identificar desde logo duas questões fundamentais sobre a avaliação (e o desenho) de experiências laboratoriais:

- (i) que critérios devem estas atividades cumprir para serem adequadas a um ensino CTSS?;
- (ii) que metodologia pode ser usada para proceder a essa avaliação?

Note-se que estas questões são gerais e não apenas válidas para atividades experimentais.

O objetivo deste capítulo é apresentar uma tentativa de resposta a estas questões, mais precisamente, propôr um conjunto de critérios e uma metodologia (com base na análise SWOT) para avaliar o cumprimento desses critérios que, no seu conjunto, constituem um instrumento para avaliar se as atividades laboratoriais estão desenhadas de forma a adequarem-se a um ensino CTSS. O instrumento foi testado com as atividades dos atuais programas da Química dos 10º e 11º anos do Ensino Secundário (anexos IV e V).

5.3. Desenvolvimento do instrumento de avaliação - SWOT

Na Figura 5.1 apresenta-se tentativamente um conjunto de aspetos (formam uma rede) que interrelacionam a Química, a Tecnologia, a Sociedade e a Sustentabilidade, e que serviram de base para a escolha dos critérios a estabelecer na avaliação. Para avaliar o cumprimento dos critérios e atendendo a que se pretende uma avaliação qualitativa, já que os aspetos a considerar são de natureza diversa e na sua maioria não quantificáveis, usou-se a análise SWOT, que pareceu adequada para o efeito [9].

A análise SWOT foi criada na Harvard Business School nos anos sessenta, e embora tenha sido originalmente utilizada na avaliação empresarial, atualmente é aplicada nas mais diversas áreas, tendo sido ultimamente empregue na área da Química [10] e da tecnologia [11]. O termo SWOT resulta das iniciais S (“Strengths” – pontos fortes), W (“Weaknesses” – pontos fracos), O (“Opportunities” – oportunidades) e T (“Threats” – ameaças). Os pontos fortes indicam os aspetos positivos, e os fracos os negativos, relativamente aos objetivos a atingir e o seu conjunto corresponde à *análise interna*, já que os aspetos considerados são atributos do objeto. As oportunidades podem tornar mais forte o objeto em análise e as

ameaças pôr em causa o seu sucesso; o seu conjunto corresponde à *análise externa*, já que resultam de fatores externos ao objeto. Após definidos os objetivos, identificam-se os pontos fortes e fracos, bem como as oportunidades e ameaças que se colocam ao cumprimento desses objetivos.

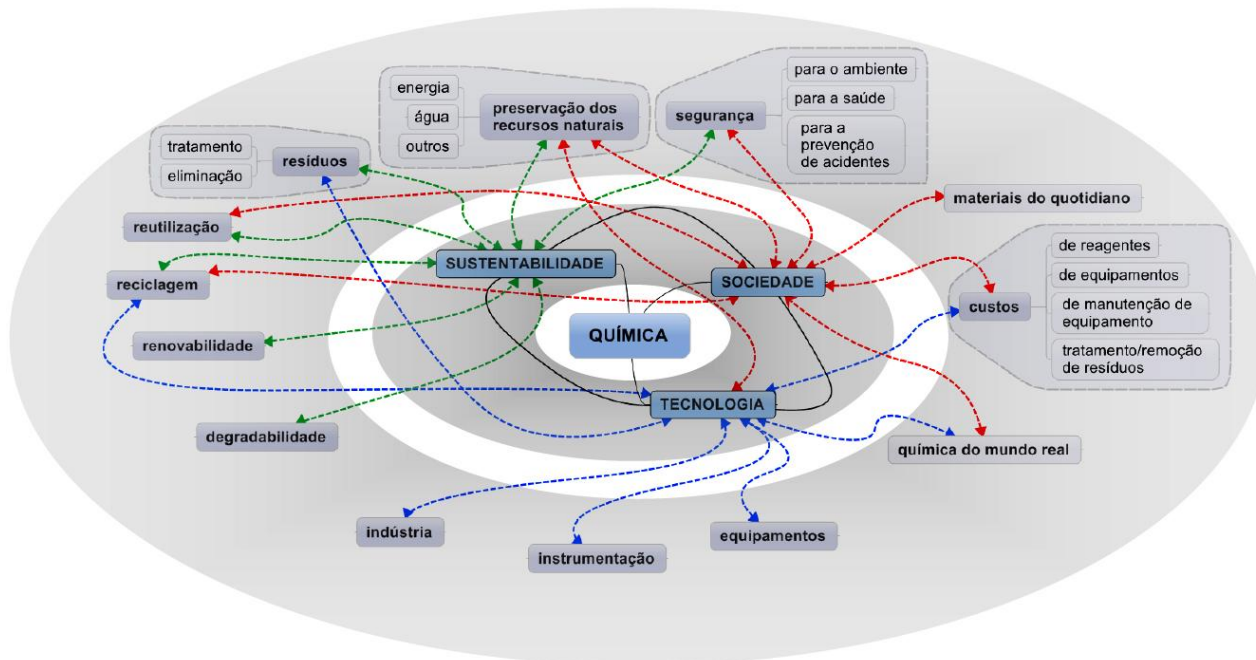


Figura 5.1. Rede Química-Tecnologia-Sociedade-Sustentabilidade para elaboração de critérios usados na avaliação

No caso presente, os objetos em análise são as atividades laboratoriais e o objetivo é estas serem adequadas a um ensino CTSS. Para a análise, é necessário definir os critérios a que devem obedecer as atividades laboratoriais para cumprirem este objetivo e que constituem as dimensões de análise relativamente às análises interna e externa.

5.3.1. Análise interna

Para esta análise, tomando em consideração as ligações mais importantes da Ciência, neste caso a Química, com a Tecnologia, a Sociedade e a Sustentabilidade, estabelecidas na Figura 5.1, foram escolhidas as chamadas dimensões de análise (os aspetos mais importantes para a caracterização dos pontos fortes e fracos no cumprimento do objetivo definido). Por meio de um processo que se descreve adiante (ver secção construção da ferramenta e análise SWOT), foram identificadas vinte dimensões que se apresentam de forma sucinta no diagrama da Figura 5.2 e discriminada na Tabela 5.1.

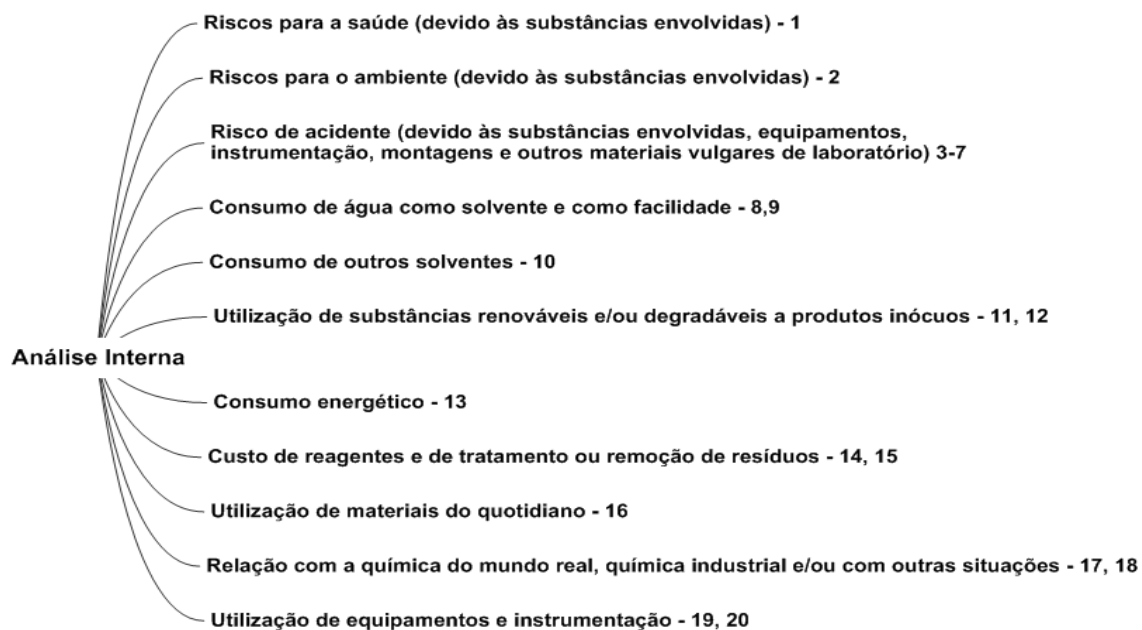


Figura 5.2. Dimensões de análise para a analisar os pontos fortes e fracos (os números referem-se à segunda coluna da Tabela 5.1)

Tabela 5.1. Critérios para a contabilização dos pontos fortes e fracos

Dimensões de análise		Ponto Forte	Ponto fraco
Riscos para a saúde (devido às substâncias envolvidas)	1. Riscos para a saúde devido a todas as substâncias envolvidas: reagentes, produtos, resíduos, solventes, substâncias auxiliares (como por ex. as utilizadas nos banhos de aquecimento e na instrumentação)	No caso de substâncias (Xi, Xn ou sem indicação)	No caso de substâncias (T, T ⁺ , C)
Riscos para o ambiente (devido às substâncias envolvidas)	2. Riscos para o ambiente devido a todas as substâncias envolvidas: reagentes, produtos, resíduos, solventes, substâncias auxiliares (como por ex. as utilizadas nos banhos de aquecimento e na instrumentação)	No caso de substâncias sem indicação de riscos para o ambiente	No caso de substâncias (N)
Riscos de acidente (devido às substâncias envolvidas, equipamentos, instrumentação, montagens e outros materiais vulgares de laboratório)	3. Riscos de acidente devido às substâncias envolvidas	No caso de substâncias (Xi, Xn ou sem indicação de riscos)	No caso de substâncias (T, T ⁺ , C, O, F, F ⁺)
	4. Riscos de acidente devido ao equipamento ¹	Com riscos baixos ou moderados	Com riscos elevados
	5. Riscos de acidente devido à instrumentação ¹	Com riscos baixos ou moderados	Com riscos elevados
	6. Riscos de acidente devido a montagens ¹	Com riscos baixos ou moderados	Com riscos elevados
	7. Riscos de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório ^{1,2}	Com riscos baixos ou moderados	Com riscos elevados
Consumo de água como solvente ou reagente e como facilidade	8. Consumo de água como solvente ou reagente	Com consumo baixo (V ≤ 50 mL)	Com consumo elevado (V > 50 mL)
	9. Consumo de água como facilidade (ex: água de refrigeração, de banhos, etc.)	Com consumo baixo (V ≤ 200 mL)	Com consumo elevado (V > 200 mL)
Consumo de outros solventes	10. Consumo de solventes para além da água	Com consumo baixo (V ≤ 50 mL)	Com consumo elevado (V > 50 mL)
	11. Utilização de substâncias renováveis (a água não é contabilizada)	Utilizam-se	Não se utilizam
Utilização de substâncias renováveis e/ou degradáveis a produtos inócuos	12. Utilização de substâncias degradáveis a produtos inócuos (a água não é contabilizada)	Utilizam-se	Não se utilizam
Consumo energético	13. Consumo energético	Se a experiência se realiza à temperatura ambiente	Se é necessário aquecer ou arrefecer
Custos de reagentes e de tratamento ou remoção de resíduos	14. Custo dos reagentes	Custo baixo por reagente (≤ 0,05 €/g ou ≤ 0,05 €/mL)	Custo elevado por reagente (> 0,05 €/g ou > 0,05 €/mL)
	15. Custos de tratamento ou remoção de resíduos	Não existem para resíduos sem indicação de riscos para o ambiente	Existem para resíduos com riscos para o ambiente (N)
Utilização de materiais do quotidiano	16. Utilização de materiais do quotidiano (a água não é contabilizada)	Utilizam-se	Não se utilizam
Relação com a Química do mundo real, Química Industrial e/ou com outras situações	17. Relação com a Química Industrial	Relacionada	Não relacionada
	18. Relação com outras situações da Química do mundo real (ex: saúde, agricultura, transportes, etc.)	Relacionada	Não relacionada
Utilização de equipamentos e instrumentação	19. Utilização de equipamentos	Utilizam-se	Não se utilizam
	20. Utilização de instrumentação	Utilizam-se	Não se utilizam

¹ Só se consideram se existirem equipamentos e/ou instrumentação e/ou montagens e/ou outros materiais vulgares de laboratório

² Considera-se que a utilização de material de vidro envolve riscos baixos e que os banhos de aquecimento ou fogões "camping gás" envolvem riscos elevados

5.3.2. Análise externa

Para o estabelecimento das dimensões, no que se refere às oportunidades, tomaram-se em consideração aspetos que podem levar ao melhoramento das atividades, diminuindo o impacto dos pontos fracos atrás referidos; no que se refere às ameaças, condicionamentos externos que possam criar dificuldades à sua utilização e impliquem o redesenho das

atividades ou o seu abandono. Assim, foram definidas cinco dimensões de análise relativamente às oportunidades e quatro relativamente às ameaças, que se colocam à sua realização (ver diagrama na Figura 5.3). Na Tabela 5.2 apresentam-se implicações destas dimensões.

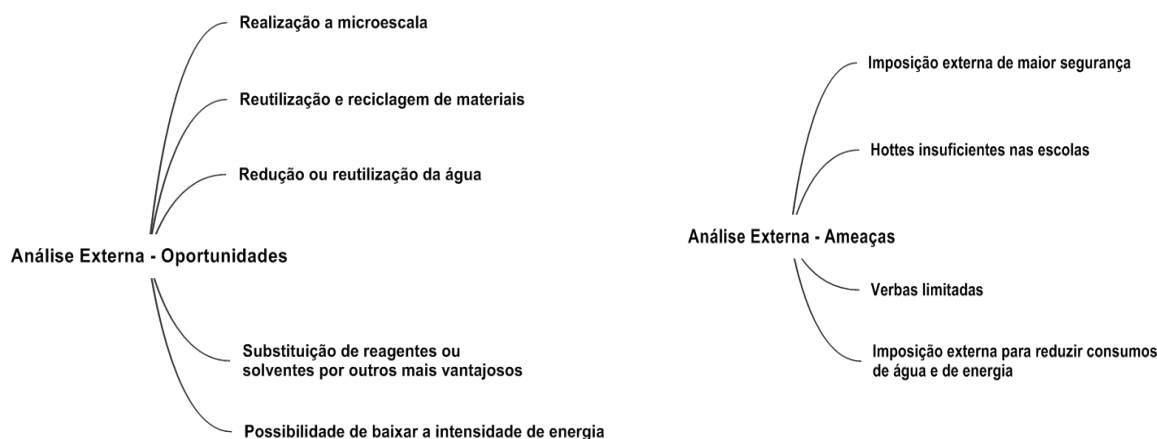


Figura 5.3. Dimensões de análise para a analisar as oportunidades e as ameaças

Tabela 5.2. Oportunidades e ameaças – aspetos a considerar nas dimensões de análise

Oportunidades	
Dimensões de análise	Implicações
Realização a microescala	Redução dos riscos e custo dos reagentes, bem como tratamento ou remoção de resíduos, pois são em menor quantidade
Reutilização e reciclagem de materiais	Utilização de materiais reciclados ou produtos de outras atividades
Redução ou reutilização de água	Alteração de procedimentos de modo a baixar o consumo de água e/ou reutilizar a água, nomeadamente a água de refrigeração nas destilações
Substituição de reagentes ou solventes por outros mais vantajosos	Substituição por reagentes com riscos mais baixos, renováveis, degradáveis em produtos de baixo risco para o ambiente, de baixo custo e do quotidiano
Possibilidade de baixar a intensidade de energia	Alteração de procedimentos de modo a aumentar a eficiência energética
Ameaças	
Dimensões de análise	Implicações
Imposição externa de mais segurança	Aumento dos custos de tratamento ou remoção de resíduos, ou de melhoramento das condições dos laboratórios, ou de abandono das experiências
Hottes insuficientes nas escolas	Aumento de custos para melhorar condições do laboratório
Verbas limitadas	Dificuldades se a experiência implicar custos elevados (reagentes, equipamentos, instrumentação, tratamento ou remoção de resíduos, melhoramento das condições dos laboratórios)
Imposição externa para reduzir consumos de água e/ou de energia	Reutilização da água e experiências a pressão e temperatura ambientais

5.4. Análise SWOT das atividades experimentais dos 10º e 11º Anos

A análise SWOT foi aplicada à totalidade das atividades experimentais propostas nos programas de Química, em vigor, dos 10º e 11º anos do Ensino Secundário, constituídas por oitenta e seis experiências, no conjunto dos dois anos (Tabela 5.3).

Na construção da ferramenta SWOT para esta finalidade, as dimensões de análise (Tabela 5.1) não estavam todas definidas à partida, mas resultaram do processo de análise que decorreu da seguinte forma:

- (i) para cada experiência foram identificados os pontos fortes e fracos, oportunidades e ameaças relativas às dimensões de análise definidas à partida e construída a respetiva matriz SWOT (anexos IV e V);
- (ii) para cada dimensão de análise foram identificadas as experiências com os mesmos pontos fortes constituindo uma mesma categoria de análise (o mesmo para os pontos fracos, ameaças e oportunidades);
- (iii) à medida que a análise decorria as experiências, agrupadas numa mesma categoria, eram constantemente comparadas entre si, com o objetivo de conseguir consistência interna dentro de cada categoria, o que implicou, por vezes, a criação de novas dimensões de análise que permitissem discriminar as experiências (por exemplo a criação de diversas dimensões relativas aos riscos de acidente, 3-7);
- (iv) finalmente, quando a análise deixou de fornecer novas informações relevantes para a análise, considerou-se a categoria saturada e o processo terminado [12].

Após a análise terminada, verificou-se que as dimensões de análise 4-6 e 10 apareciam nos pontos fortes, mas não nos pontos fracos. A dimensão 4 (risco de acidente devido ao equipamento), aparece só como ponto forte, porque se usa um único equipamento (manta) que foi considerado de baixo risco; o mesmo sucede para a dimensão 5 (risco devido à instrumentação) onde só se utiliza o medidor de pH eletrónico e o espectroscópio, ambos considerados de baixo risco, para a dimensão 6 (riscos devido à montagem), só presente nas destilações consideradas também de baixo risco, e para a dimensão 10 (consumo de solventes para além da água) em que os solventes utilizados são o etanol e hexano, ambos com consumos considerados baixos. Estas dimensões poderiam ser eliminadas na análise, atendendo a que não existem riscos efetivos, mas optou-se por as manter para permitir estabelecer um instrumento de aplicação mais geral, que permite maior discriminação na análise.

Tabela 5.3. Experiências avaliadas

Ano	Experiência	Designação das experiências
10º	1	Separar os componentes de uma mistura de água, sal e solo
	2	Separar uma mistura de óleo ou azeite e água
	3	Separar uma mistura de hexano e água
	4	Dessalinizar água do mar ou água salgada
	5	Separar água e acetona de uma mistura
	6	Análise elementar do cloreto de sódio por via seca
	7	Análise elementar do cloreto de bário por via seca
	8	Análise elementar do cloreto de cálcio por via seca
	9	Análise elementar do cloreto de sódio por via seca
	10	Análise elementar do cloreto de cobre(I) por via seca
	11	Análise elementar do cloreto de cobre(II) por via seca
	12	Análise elementar do cloreto de lítio por via seca
	13	Análise elementar do cloreto de estrôncio por via seca
	14	Determinação da densidade e da densidade relativa de um sólido
	15	Determinação da densidade e da densidade relativa da água
	16	Determinação da densidade e da densidade relativa do etanol
	17	Determinação do ponto de ebulição da água
	18	Determinação do ponto de ebulição do etanol
	19	Determinação do ponto de fusão do enxofre
	20	Determinação do ponto de fusão do naftaleno
	21	Determinação do ponto de fusão do ácido salicílico
	22	Preparação de soluções
	23	Preparação de coloides por adição de uma solução saturada de acetato de cálcio a etanol absoluto
	24	Preparação de coloides por reação entre ácido clorídrico (concentrado) e solução diluída de tiosulfato de sódio.
11º	1-4	Identificar a presença de amoníaco e de compostos de amónio em materiais de uso comum – Teste A a D
	5	Síntese do sulfato de tetraaminocobre(II) monoidratado
	6-9	Efeito da temperatura e da concentração na progressão global de uma reacção
	10-16	Classificação de águas em ácidas, neutras ou alcalinas utilizando como indicadores solução alcoólica de fenolftaleína, azul de bromofenol, tornesol, carmim de índigo, universal, alaranjado de metilo e vermelho de metilo
	17	Classificação de águas em ácidas, neutras ou alcalinas utilizando um medidor de pH eletrónico ou um sensor
	18	Apreciação do efeito da temperatura no pH de uma solução
	19	Verificar a variação do pH da água quando se faz borbulhar CO ₂
	20	Verificar a variação do pH da água quando se faz borbulhar SO ₂
	21	Força relativa do ácido clorídrico e concentração das soluções respetivas
	22	Força relativa do ácido nítrico e concentração das soluções respetivas
	23	Força relativa do ácido acético e concentração das soluções respetivas
	24	Titulação ácido forte – base forte utilizando solução alcoólica de fenolftaleína como indicador
	25	Titulação ácido forte – base forte utilizando vermelho de metilo como indicador
	26	Titulação ácido forte – base forte utilizando um medidor de pH eletrónico ou um sensor
	27-38	Série eletroquímica Cu/Zn(NO ₃) ₂ (aq); Al/Zn(NO ₃) ₂ (aq); Mg/Zn(NO ₃) ₂ (aq); Zn/Cu(NO ₃) ₂ (aq); Al/Cu(NO ₃) ₂ (aq); Mg/Cu(NO ₃) ₂ (aq); Mg/Al(NO ₃) ₃ (aq); Cu/Al(NO ₃) ₃ (aq); Zn/Al(NO ₃) ₃ (aq); Cu/Mg(NO ₃) ₃ (aq); Zn/Mg(NO ₃) ₂ (aq); Al/Mg(NO ₃) ₂ (aq).
	39-45	Solubilidade do cloreto de sódio, cloreto de cálcio, carbonato de cálcio, iodo, heptano, hexano e etanol em água
	46-51	Solubilidade do cloreto de sódio, cloreto cálcio, carbonato de cálcio, iodo, heptano e hexano em etanol
	52-56	Solubilidade do cloreto de sódio, cloreto de cálcio, carbonato de cálcio, iodo, e heptano em hexano
	57	Influência da temperatura na solubilidade do nitrato de potássio em água
	58	Avaliação da dureza de água dura preparada juntando cloreto de cálcio a água destilada
	59	Avaliação da dureza de água dura preparada juntando sulfato de magnésio a água destilada
	60	Avaliação da dureza de água destilada, usada como água macia
61	Avaliação da dureza de água amaciada com carbonato de sódio (água dura preparada juntando cloreto de cálcio a água destilada)	
62	Avaliação da dureza da água amaciada com carbonato de sódio (água dura preparada juntando sulfato de magnésio a água destilada)	

5.4.1. Exemplos da aplicação da análise SWOT

Para ilustrar a utilização de diversas dimensões de análise e o formato do resultado da análise para cada experiência apresentam-se as análises de cinco experiências dos 10º e 11º anos nas Tabelas 5.4 a 5.6 (matrizes SWOT), que são discutidos brevemente a seguir. Para estes exemplos, foram escolhidas experiências que exemplificassem vários tipos de situações encontradas, pertencessem a ambos os anos avaliados e que, no seu conjunto, apresentassem pontos fortes para quase todas as dimensões de análise.

Dessalinizar água do mar ou água salgada. Nesta experiência do 10º ano (experiência 4, Tabela 5.3) água do mar ou água salgada é dessalinizada por destilação simples. O resultado da análise SWOT é apresentado na Tabela 5.4. Nesta experiência só se utilizam materiais do quotidiano, 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. Em face destes resultados, esta experiência pode enquadrar-se num ensino CTSS.

Tabela 5.4. Matrizes SWOT para experiências 4, 10 e 11 do 10º Ano

Experiência 4 - Dessalinizar água do mar ou água salgada	
<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco baixo de acidente devido às substâncias envolvidas</p> <p>4 - Risco baixo de acidente devido ao equipamento</p> <p>6 - Risco baixo de acidente devido à montagem</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>10 - Não há utilização de outros solventes para além da água</p> <p>11 - Utilização de materiais renováveis</p> <p>12 - Utilização de materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>14 - Sem custos para os reagentes</p> <p>15 - Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>16 - Só se utilizam materiais do quotidiano</p> <p>18 - Relação com a Química do mundo real</p> <p>19 - Utilização de equipamentos (manta)</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>8 - Consumo elevado de água como solvente</p> <p>9 - Consumo elevado de água como facilidade (refrigeração)</p> <p>13 - É necessário aquecer (destilação)</p> <p>17 - Sem relação com a Química Industrial</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p> <p>- Pode ser realizada a microescala e utilizar-se uma coluna de ar para a refrigeração.</p> <p>- Pode reutilizar-se a água de refrigeração</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de água e de energia</p>
Experiências 10 e 11 - Análise elementar do CuCl e do CuCl₂ por via seca	
<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (cloreto de cobre (I) e (II) - Xn)</p> <p>3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (cloreto de cobre (I) e (II) - Xn)</p> <p>5 - Risco baixo de acidente devido à instrumentação</p> <p>8 - Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 - Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>20 - Utiliza-se instrumentação (espectroscópio)</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>2 - Riscos elevados para o ambiente (cloreto de cobre (I) e (II) - N)</p> <p>7 - Risco elevado de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório (utilização de gás)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>13 - É necessário aquecer</p> <p>14 - Custo elevado de reagentes</p> <p>15 - Custos de tratamento ou remoção de resíduos (cloreto de cobre (I) e (II) - N)</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano</p> <p>17 - Sem relação com a Química Industrial</p> <p>18 - Sem relação com outras situações da Química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (bico de bunsen ou fogão “campingaz” e cloreto de cobre (I) e (II) - N)</p> <p>- Ausência de hottes suficientes nas escolas</p> <p>- Verbas limitadas (para remoção de resíduos)</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de energia</p>

Tabela 5.5. Matrizes SWOT para experiências 1-4, 40 e 41 do 11º Ano

Experiências 1-4 do 11º ano - Amoníaco e compostos de amónio em materiais de uso comum	
<p>Pontos Fortes</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>16 – Utilizam-se materiais do quotidiano para além da água</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>1 - Risco elevado para a saúde devido às substâncias envolvidas (Amoníaco - T; reagente de Nessler - T⁺)</p> <p>2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (Amoníaco - N; reagente de Nessler - N)</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (Amoníaco - T; reagente de Nessler - T⁺)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>14 - Custo elevado de reagentes (reagente de Nessler)</p> <p>15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>17 - Sem relação com a Química Industrial</p> <p>18 - Sem relação com outras situações da Química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p> <p>- Pode ser realizada a microescala e utilizar-se uma coluna de ar para a refrigeração.</p> <p>- Pode reutilizar-se a água de refrigeração</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (Amoníaco – T, N; reagente de Nessler - T⁺, N)</p> <p>- Ausência de hottes suficientes nas escolas</p> <p>- Verbas limitadas (para remoção de resíduos)</p>
Experiências 40 e 41 do 11º ano - Solubilidade do cloreto de cálcio e do carbonato de cálcio em água	
<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (cloreto e carbonato de cálcio - Xi)</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (cloreto e carbonato de cálcio - Xi)</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>12 - Utiliza materiais degradáveis a produtos inócuos (cloreto e carbonato de cálcio)</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>11 – Não se utilizam materiais renováveis, para além da água</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano, para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a Química Industrial</p> <p>18 - Sem relação com a Química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p>

Tabela 5.6. Matrizes SWOT para experiência 5 do 11º Ano

Experiência 5 – Síntese do sulfato de tetraaminocobre(II) monoidratado	
<p>Pontos Fortes 7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório 8 – Baixo consumo de água como solvente 10 - Baixo consumo de outros solventes (etanol) 14 - Custo baixo de reagentes 17 - Relação com a Química Industrial</p>	<p>Pontos Fracos 1 - Risco elevado para a saúde devido às substâncias envolvidas (amoníaco - C) 2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (amoníaco e sulfato de cobre(II) - N) 3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (amoníaco - C; etanol - F) 9 –Elevado consumo de água como facilidade (trompa de água) 11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água 12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água 13 – É necessário arrefecer (banho de gelo para cristalização) 15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos 16 – Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água 18 - Sem relação com a Química do mundo real 19 - Não se utilizam equipamentos 20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades - Pode ser realizada à microescala</p>	<p>Ameaças - Imposição externa de maior segurança (amoníaco – C, N; sulfato de cobre(II) – N; etanol - F) - Ausência de hottes suficientes nas escolas - Verbas limitadas (para remoção de resíduos) - Imposição externa para reduzir consumos de energia</p>

Análise elementar do CuCl e do CuCl₂ por via seca. Nestas experiências do 10º ano (experiências 10 e 11, Tabela 5.3) procede-se à queima dos sais e observa-se, para cada amostra, a cor conferida à chama e o tipo de espectro, concluindo-se sobre o catião presente em cada amostra. Estas experiências envolvem riscos elevados de acidente devido à utilização de gás, e para o ambiente devido às substâncias utilizadas, custos de remoção de resíduos, não se utilizam substâncias renováveis, nem degradáveis, há consumo energético e o custo dos reagentes é elevado. Por outro lado, não se utilizam materiais do quotidiano e não se relaciona com a Química Industrial, nem com outras situações da Química do mundo real. Apesar das substâncias envolvidas apresentarem riscos moderados para a saúde e de acidente, não haver consumo de água e ser usada instrumentação, estas experiências (Tabela 5.4) apresentam apenas 35% de pontos fortes, do conjunto de pontos fortes possíveis (as dimensões de análise 4 e 6, riscos de acidente devido ao equipamento e montagem, respetivamente, não foram avaliadas pois não se utilizam equipamentos nem montagens), não parecendo adequadas a um ensino CTSS.

Amoníaco e compostos de amónio em materiais de uso comum. Nestas experiências do 11º ano (experiências 1-4, Tabela 5.3) identifica-se a presença de amoníaco e de compostos de amónio através de vários testes químicos específicos: pela formação de cloreto de amónio sólido na reação com cloreto de hidrogénio (experiência 1), pelo carácter alcalino de uma

solução de amoníaco em água (experiência 2), por reação com o reagente de Nessler (experiência 3) e pela formação do ião complexo tetraminocobre(II), de cor azul intensa (experiência 4). Estas experiências envolvem riscos elevados para a saúde, ambiente e de acidente, não se utilizam substâncias renováveis, nem degradáveis, para além da água, apresenta custos de remoção de resíduos e o custo de um dos reagentes é elevado. Embora se utilizem alguns materiais do quotidiano, estão também envolvidos reagentes com riscos elevados e a sua realização exige a utilização de hotte, o que pode constituir uma dificuldade para a sua realização em contexto escolar. Não se utilizam equipamentos nem instrumentação e não se relaciona a com a Química Industrial, apesar da importância da síntese do amoníaco nesta. Os consumos de água e de energia baixos são pontos fortes (Tabela 5.5), mas a percentagem de pontos fortes é de 30% do conjunto de pontos fortes possíveis (as dimensões de análise 4-6, riscos de acidente devido ao equipamento, instrumentação e montagem, respetivamente, não foram avaliadas), não parecendo adequadas a um ensino CTSS.

Solubilidade do cloreto de cálcio e do carbonato de cálcio em água. Nestas experiências do 11º ano (experiências 40 e 41, Tabela 5.3), avalia-se a solubilidade dos sais em água, classificando a solubilidade do soluto no solvente como muito solúvel, pouco solúvel ou muito pouco solúvel. Nestas experiências as substâncias envolvidas apresentam risco moderado para a saúde e de acidente e baixo para o ambiente, utilizam-se substâncias degradáveis (para além da água), o consumo de água é baixo, não há consumo energético e os reagentes são de baixo custo. No entanto, não se utilizam materiais do quotidiano (para além da água), não se relacionam com a Química Industrial, nem com outras situações da Química do mundo real, não se utilizam equipamentos, nem instrumentação. Estas experiências têm 55% de pontos fortes do conjunto de pontos fortes possíveis (Tabela 5.5, tal como no caso anterior, as dimensões de análise 4-6 não foram avaliadas), faltando-lhe principalmente a componente T (Tecnologia) da CTSS.

Síntese do sulfato de tetraaminocobre(II) monoidratado. Nesta experiência realiza-se a síntese a partir do sulfato de cobre(II) pentaidratado e de amoníaco. O consumo de água e de etanol é baixo, bem como o custo dos reagentes. Tem relação com a Química Industrial e apresenta baixo risco de acidente, devido ao material de laboratório utilizado, mas os riscos para a saúde, ambiente e de acidente devido às substâncias envolvidas são elevados. Não se utilizam substâncias renováveis, nem degradáveis, nem materiais do quotidiano, para além da água. Não se utilizam equipamentos nem instrumentação e apresenta custos de remoção de resíduos. Pode realizar-se a microescala e como os tempos de realização e as quantidades de

substâncias envolvidas serão menores reduz-se o consumo energético e de água, os custos de remoção de resíduos e a exposição a substâncias que envolvem riscos para a saúde. A percentagem de pontos fortes para esta experiência é de 30% (Tabela 5.6) faltando-lhe principalmente as componentes S (Sociedade e Sustentabilidade) da CTSS.

5.4.2. Resultados da aplicação da análise SWOT às atividades experimentais

Para esta avaliação, os pontos fortes e fracos, as ameaças e as oportunidades e as respetivas percentagens para as diversas experiências são listadas, para os 10º e 11º anos, nas Tabelas 5.7 e 5.8, respetivamente. Para cada experiência do 10º e do 11º ano identificaram-se os pontos fortes e fracos resumindo-se estes elementos nas tabelas 5.9 e 5.10. A partir destas tabelas, foram construídos os gráficos da Figura 5.4, onde se apresentam os pontos fortes e fracos presentes para as experiências.

Esta análise permite uma avaliação das experiências em três vertentes:

- (i) uma identificação global dos pontos fortes e fracos que estão presentes na maioria das experiências, o que dá uma visão dos aspetos em que parece ter havido mais intencionalidade no desenho das experiências num paradigma CTSS (pontos fortes) e onde houve menos intencionalidade (pontos fracos);
- (ii) uma avaliação da frequência de pontos fortes e fracos presentes em cada experiência (para uma avaliação individual) ou no conjunto das experiências (para uma avaliação global) o que permite caracterizar a sua adequação individual ou global a um ensino CTSS, após definido um critério de exclusão tendo por base essa percentagem;
- (iii) uma avaliação de cada experiência identificando os pontos fortes e fracos e pesando as ameaças e oportunidades, o que permite tomar decisões sobre o seu melhoramento ou abandono com base no paradigma CTSS.

Tabela 5.7. Resumo dos pontos fortes e fracos para as experiências do 10º e 11º Sños

Dimensões de análise	Pontos fortes							
	10º ano, N=24			11º ano, N=62			10º- 11º, N=86	
	Experiências	Exp N°	Exp %	Experiências	Exp N°	Exp %	Exp N°	Exp %
1 Riscos baixos ou moderados para a saúde devido às substâncias envolvidas	1-6, 8-23	22	91,7	11-14, 16-19, 21-23, 25-29, 33-62	46	74,2	68	79,1
2 Riscos baixos para o ambiente devido às substâncias envolvidas	1,2, 4-9, 12-20, 21-24	20	83,3	10-15, 17-24, 26, 27, 30-41, 44, 46-48, 57-62	38	61,3	58	67,4
3 Riscos baixos ou moderados de acidente devido às substâncias envolvidas	1, 4, 6, 8-15, 17, 20-22	15	62,5	11-13, 16-18, 21-23, 25, 26, 39-42, 58-62	20	32,3	35	40,7
4 Riscos baixos de acidente devido ao equipamento	1, 4, 5	3	12,5	-	0	0,0	3	3,5
5 Riscos baixos de acidente devido à instrumentação	6-13, 21	9	37,5	17, 18, 21-23, 26	6	9,7	15	17,4
6 Riscos baixos de acidente devido a montagens	1, 4, 5	3	12,5	-	0	0,0	3	3,5
7 Riscos baixos de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório	1-5, 14-16, 21-24	12	50,0	1-5, 7-62	61	98,4	73	84,9
8 Baixo consumo de água como solvente (ou não usada)	2, 3, 6-14, 16-21, 23, 24	19	79,2	1-18, 26-56, 58-60	52	83,9	71	82,6
9 Baixo consumo de água como facilidade (ou não usada)	2, 3, 6-13, 15-24	20	83,3	1-4, 6-62	61	98,4	81	94,2
10 Baixo consumo de outros solventes (ou não usados)	1-24	24	100,0	1-62	62	100,0	86	100,0
11 Utilizam-se substâncias renováveis (a água não é contabilizada)	1, 2, 4, 6, 15, 17	6	25,0	39, 46, 52, 61, 62	5	8,1	11	12,8
12 Utilizam-se substâncias degradáveis a produtos inócuos (a água não é contabilizada)	1, 2, 4, 6, 8, 15, 17	7	29,2	19, 23, 39-41, 46-48, 52-54, 58-62	16	25,8	23	26,7
13 Experiências realizadas à temperatura ambiente	2, 3, 14-16, 22-24	8	33,3	1-4, 7-17, 19-56, 58-60	56	90,3	64	74,4
14 Baixo custo dos reagentes	1-9, 15-24	19	79,2	5, 10, 14, 17-24, 26, 39-62	36	58,1	55	64,0
15 Não existem custos de remoção de resíduos	1, 2, 4-9, 12-19, 21-24	20	83,3	10-27, 30-41, 44, 46-48, 57-62	40	64,5	60	69,8
16 Utilizam-se materiais do quotidiano, para além da água	1, 2, 4, 15, 17	5	20,8	1-4, 58-62	9	14,5	14	16,3
17 Com relação com a Química Industrial		0	0,0	5	1	1,6	1	1,2
18 Com relação com outras situações da Química do mundo real	4	1	4,2	58-62	5	8,1	6	7,0
19 Utilizam-se equipamentos	1, 4, 5	3	12,5	-	0	0,0	3	3,5
20 Utiliza-se instrumentação	6-13, 21	9	37,5	17, 18, 21-23, 26	6	9,7	15	17,4
Dimensões de análise	Pontos fracos							
1 Riscos elevados para a saúde devido às substâncias envolvidas	7, 24	2	8,3	1-10, 15, 20, 24, 30-32	16	25,8	18	20,9
2 Riscos elevados para o ambiente devido às substâncias envolvidas	3, 10, 11, 20	4	16,7	1-9, 16, 25, 28, 29, 42, 43, 45, 49-56	24	38,7	28	32,6
3 Riscos elevados de acidente devido às substâncias envolvidas	2, 3, 5, 7, 16, 18, 19, 23, 24	9	37,5	1-10, 14, 15, 19, 20, 24, 27-38, 43-57	42	67,7	51	59,3
7 Riscos elevados de acidente devido a banho ou utilização de gás	6-13, 17-20	12	50,0	6	1	1,6	13	15,1
8 Elevado consumo de água como solvente	1, 4, 5, 15, 22	5	20,8	19-25, 57, 61-62	10	16,1	15	17,4
9 Elevado consumo elevado de água como facilidade (refrigeração)	1, 4, 5, 14	4	16,7	5	1	1,6	5	5,8
11 Não se utilizam materiais renováveis (a água não é contabilizada)	3, 5, 7-14, 16, 18-24	18	75,0	1-38, 40-45, 47-51, 53-60	57	91,9	75	87,2
12 Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos (a água não é contabilizada)	3, 5, 7, 9-14, 16, 18-24	17	70,8	1-18, 20-22, 24-38, 42-45, 49-51, 55, 56, 57	46	74,2	63	73,3
13 É necessário aquecer ou arrefecer	1, 4-13, 17-21	16	66,7	5, 6, 18, 57, 61, 62	6	9,7	22	25,6
14 Custo elevado dos reagentes	10-14	5	20,8	1-4, 6-9, 11-13, 15, 16, 25, 27-38	26	41,9	31	36,0
15 Custos de remoção de resíduos	3, 10, 11, 20	4	16,7	1-9, 28, 29, 42, 43, 45, 49-56	22	35,5	26	30,2
16 Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água	3, 5-14, 16, 18-24	19	79,2	5-57	53	85,5	72	83,7
17 Sem relação com a Química Industrial	1-24	24	100,0	1-4, 6-62	61	98,4	85	98,8
18 Sem relação com outras situações da Química do mundo real	1-3, 5-24	23	95,8	1-57	57	91,9	80	93,0
19 Não se utilizam equipamentos	2, 3, 6-24	21	87,5	1-62	62	100,0	83	96,5
20 Não se utiliza instrumentação	1-5, 14-20, 22-24	15	62,5	1-16, 19, 20, 24, 25, 27-62	56	90,3	71	82,6

Tabela 5.8. Resumo das oportunidades e ameaças para as experiências dos 10º e 11º Anos

Dimensões de análise	Oportunidades					
	10º ano, N=24		11º ano, N=62		10º, 11º, N=86	
	Experiências	Exp %	Experiências	Exp %	Exp Nº	Exp %
Pode ser realizada a microescala	1-5	20,8	5	1,6	6	7,0
Pode reutilizar-se a água de refrigeração	1, 4-5	12,5		0,0	3	3,5
Pode utilizar-se coluna de ar para refrigeração	1, 4	8,3		0,0	2	2,3
Dimensões de análise	Ameaças					
Imposição externa de maior segurança	2, 3, 6-13, 16, 18-20, 23, 24	66,7	1-10, 14-16, 19, 20, 24, 25, 27-38, 42-57	72,6	61	70,9
Ausência de hottes suficientes	6-13	33,3	1-9, 20	16,1	18	20,9
Verbas limitadas	3, 10, 11, 20	16,7	1-9, 28, 29, 42, 43, 45, 49-56	33,9	25	29,1
Imposição externa para reduzir consumos de água	1, 4, 5	12,5		0,0	3	3,5
Imposição externa para reduzir consumos de energia	1, 4-13, 17-21	66,7	5, 6, 18, 57, 61, 62	9,7	22	25,6

Tabela 5.9. Resumo dos pontos fortes e fracos das experiências do 10º Ano

Exp.	Pontos Fracos	Nº pontos fracos	Nº pontos fracos/Nº avaliados	Pontos Fortes	Nº pontos fortes	Nº pontos fortes/Nº avaliados
1	8,9,13,17,18,20	6	6/19=0,32	1,2,3,4,6,7,10,11,12,14,15,16,19	13	13/19=0,68
2	3,17,18,19,20	5	5/17=0,29	1,2,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16	12	12/17=0,71
3	2,3,11,12,15,16,17,18,19,20	10	10/17=0,59	1,7,8,9,10,13,14	7	7/17=0,41
4	8,9,13,17,20	5	5/19=0,26	1,2,3,4,6,7,10,11,12,14,15,16,18,19	14	14/19=0,74
5	3,8,9,11,12,13,16,17,18,20	10	10/19=0,53	1,2,4,6,7,10,14,15,19	9	9/19=0,47
6	7,13,16,17,18,19	6	6/18=0,33	1,2,3,5,8,9,10,11,12,14,15,20	12	12/18=0,67
7	1,3,7,11,12,13,16,17,18,19	10	10/18=0,56	2,5,8,9,10,14,15,20	8	8/18=0,44
8	7,11,13,16,17,18,19	7	7/18=0,39	1,2,3,5,8,9,10,12,14,15,20	11	11/18=0,61
9	7,11,12,13,16,17,18,19	8	8/18=0,44	1,2,3,5,8,9,10,14,15,20	10	10/18=0,56
10	2,7,11,12,13,14,15,16,17,18,19	11	11/18=0,61	1,3,5,8,9,10,20	7	7/18=0,39
11	2,7,11,12,13,14,15,16,17,18,20	11	11/18=0,61	1,3,5,8,9,10,21	7	7/18=0,39
12	7,11,12,13,14,16,17,18,19	9	9/18=0,50	1,2,3,5,8,9,10,15,20	9	9/18=0,50
13	7,11,12,13,14,16,17,18,20	9	9/18=0,50	1,2,3,5,8,9,10,15,21	9	9/18=0,50
14	9,11,12,14,16,17,18,19,20	9	9/17=0,53	1,2,3,7,8,10,13,15	8	8/17=0,47
15	8,17,18,19,20	5	5/17=0,29	1,2,3,7,9,10,11,12,13,14,15,16	12	12/17=0,71
16	3,11,12,16,17,18,19,20	8	8/17=0,47	1,2,7,8,9,10,13,14,15	9	9/17=0,53
17	7,13,17,18,19,20	6	6/17=0,35	1,2,3,8,9,10,11,12,14,15,16	11	11/17=0,65
18	3,7,11,12,13,16,17,18,19,20	10	10/17=0,59	1,2,8,9,10,14,15	7	7/17=0,41
19	3,7,11,12,13,16,17,18,19,20	10	10/17=0,59	1,2,8,9,10,14,15	7	7/17=0,41
20	2,7,11,12,13,15,16,17,18,19,20	11	11/17=0,65	1,3,8,9,10,14	6	6/17=0,35
21	11,12,13,16,17,18,19	7	7/18=0,39	1,2,3,5,7,8,9,10,14,15,20	11	11/18=0,61
22	8,11,12,16,17,18,19,20	8	8/17=0,47	1,2,3,7,9,10,13,14,15	9	9/17=0,53
23	3,11,12,16,17,18,19,20	8	8/17=0,47	1,2,7,8,9,10,13,14,15	9	9/17=0,53
24	1,3,11,12,16,17,18,19,20	9	9/17=0,53	2,7,8,9,10,13,14,15	8	8/17=0,47

Tabela 5.10. Resumo dos pontos fortes e fracos das experiências do 11º Ano

Exp.	Pontos fracos	Nº pontos fracos	Nº pontos fracos/Nº pontos avaliados	Pontos fortes	Nº pontos fortes	Nº pontos fortes / Nº pontos avaliados
1-4	1,2,3,11,12,14,15,17,18,19,20	11	11/17=0,65	7,8,9,10,13,16	6	6/17=0,35
5	1,2,3,9,11,12,13,15,16,18,19,20	12	12/17=0,71	7,8,10,14,17	5	5/17=0,29
6	1,2,3,7,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20	14	14/17=0,82	8,9,10	3	3/17=0,18
7-9	1,2,3,11,12,14,15,16,17,18,19,20	12	12/17=0,71	7,8,9,10,13	5	5/17=0,29
10	1,3,11,12,16,17,18,19,20	9	9/17=0,53	2,7,8,9,10,13,14,15	8	8/17=0,47
11	11,12,14,16,17,18,19,20	8	8/17=0,47	1,2,3,7,8,9,10,13,15	9	9/17=0,53
12-13	11,12,14,16,17,18,19,20	8	8/17=0,47	1,2,3,7,8,9,10,13,15	9	9/17=0,53
14	3,11,12,16,17,18,19,20	8	8/17=0,47	1,2,7,8,9,10,13,14,15	9	9/17=0,53
15	1,3,11,12,14,16,17,18,19,20	10	10/17=0,59	2,7,8,9,10,13,15	7	7/17=0,41
16	2,11,12,14,16,17,18,19,20	9	9/17=0,53	1,3,7,8,9,10,13,15	8	8/17=0,47
17	11,12,16,17,18,19	6	6/18=0,33	1,2,3,5,7,8,9,10,13,14,15,20	12	12/18=0,67
18	11,12,13,16,17,18,19	7	7/18=0,39	1,2,3,5,7,8,9,10,14,15,20	11	11/18=0,61
19	3,8,11,16,17,18,19,20	8	8/17=0,47	1,2,7,9,10,12,13,14,15	9	9/17=0,53
20	1,3,8,11,12,16,17,18,19,20	10	10/17=0,59	2,7,9,10,13,14,15	7	7/17=0,41
21-22	8,11,12,16,17,18,19	7	7/18=0,39	1,2,3,5,7,9,10,13,14,15,20	11	11/18=0,61
23	8,11,16,17,18,19	6	6/18=0,33	1,2,3,5,7,9,10,12,13,14,15,20	12	12/18=0,67
24	1,3,8,11,12,16,17,18,19,20	10	10/17=0,59	2,7,9,10,13,14,15	7	7/17=0,41
25	2,8,11,12,14,16,17,18,19,20	10	10/17=0,59	1,3,7,9,10,13,15	7	7/17=0,41
26	11,12,16,17,18,19	6	6/18=0,33	1,2,3,5,7,8,9,10,13,14,15,20	12	12/18=0,67
27, 33-38	3,11,12,14,16,17,18,19,20	9	9/17=0,53	1,2,7,8,9,10,13,15	8	8/17=0,47
28-29	2,3,11,12,14,15,16,17,18,19,20	11	11/17=0,65	1,7,8,9,10,13	6	6/17=0,35
30-32	1,3,11,12,14,16,17,18,19,20	10	10/17=0,59	2,7,8,9,10,13,15	7	7/17=0,41
39	16,17,18,19,20	5	5/17=0,29	1,2,3,7,8,9,10,11,12,13,14,15	12	12/17=0,71
40-41	11,16,17,18,19,20	6	6/17=0,35	1,2,3,7,8,9,10,12,13,14,15	11	11/17=0,65
42	2,11,12,15,16,17,18,19,20	9	9/17=0,53	1,3,7,8,9,10,13,14	8	8/17=0,47
43, 45	2,3,11,12,15,16,17,18,19,20	10	10/17=0,59	1,7,8,9,10,13,14	7	7/17=0,41
44	3,11,12,16,17,18,19,20	8	8/17=0,47	1,2,7,8,9,10,13,14,15	9	9/17=0,53
46	3,16,17,18,19,20	6	6/17=0,35	1,2,7,8,9,10,11,12,13,14,15	11	11/17=0,65
47, 48	3,11,16,17,18,19,20	7	7/17=0,41	1,2,7,8,9,12,13,14,15	10	10/17=0,59
49-51	2,3,11,12,15,16,17,18,19,20	10	10/17=0,59	1,7,8,9,10,13,14	7	7/17=0,41
52	2,3,15,16,17,18,19,20	8	8/17=0,47	1,7,8,9,10,11,12,13,14	9	9/17=0,53
53, 54	2,3,11,15,16,17,18,19,20	9	9/17=0,53	1,7,8,9,10,12,13,14	8	8/17=0,47
55,56	2,3,11,12,15,16,17,18,19,20	10	10/17=0,59	1,7,8,9,10,13,14	7	7/17=0,41
57	3,8,11,12,13,16,17,18,19,20	10	10/17=0,59	1,2,7,9,10,14,15	7	7/17=0,41
58-60	11,17,19,20	4	4/17=0,24	1,2,3,7,8,9,10,12,13,14,15,16,18	13	13/17=0,76
61-62	8,13,17,19,20	5	5/17=0,29	1,2,3,7,9,10,11,12,15,16,18	12	12/17=0,71

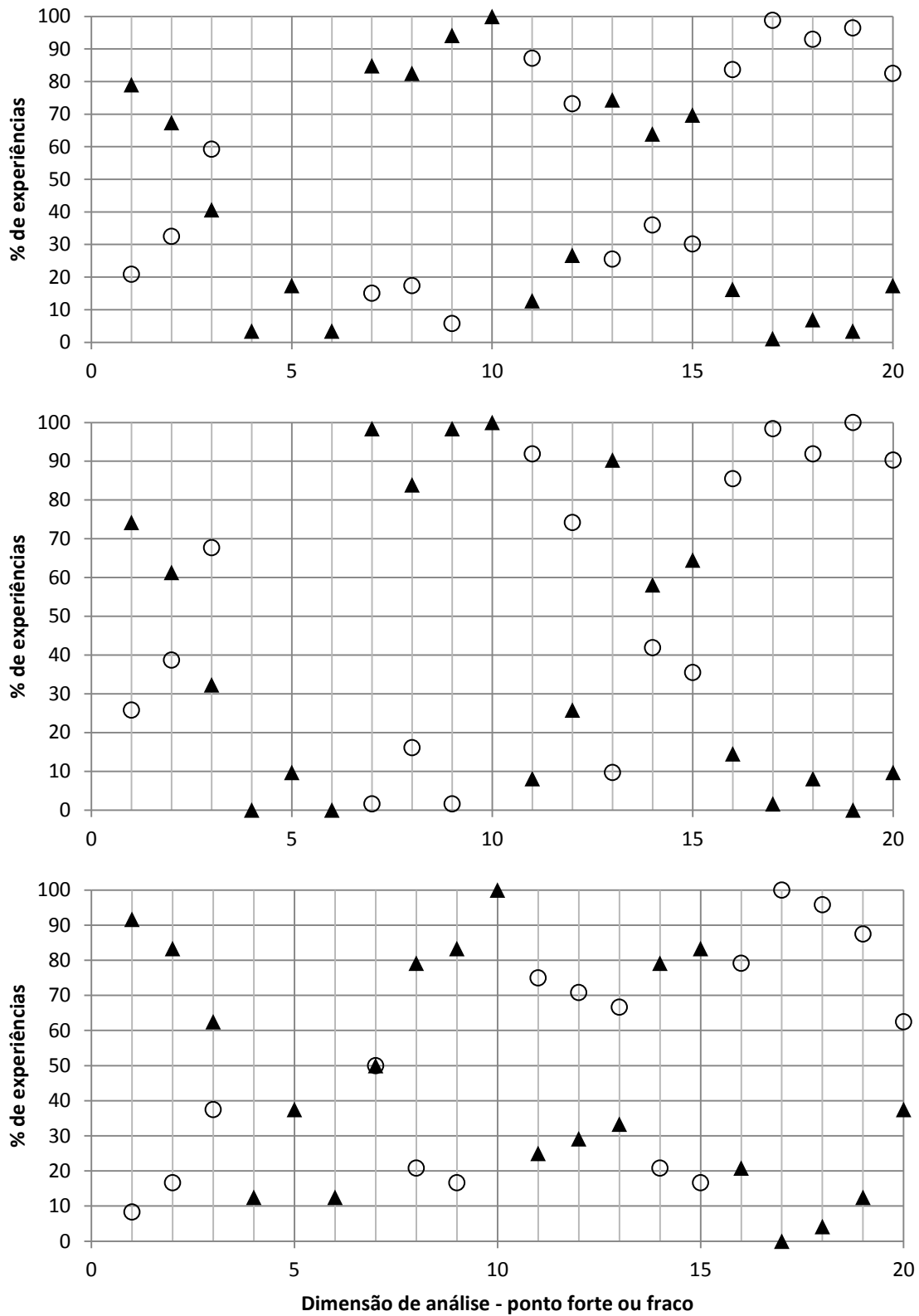


Figura 5.4. Pontos fortes ▲ e pontos fracos ○ presentes nas experiências dos 10º Ano (em baixo), 11º ano (a meio) e 10º e 11º Anos em conjunto (em cima).

5.5. Discussão dos resultados da análise SWOT

5.5.1. Identificação global dos pontos fortes e fracos

Numa perspectiva global aparecem como pontos fortes, presentes em 60% ou mais das experiências, os consumos de água (dimensões 8-9) e de outros solventes (dimensão 10), em cada um dos anos, o consumo energético (dimensão 13) no 11º ano (significando a realização de mais de 60 % das experiências à temperatura ambiente), e o custo de reagentes (dimensão 14) no 10º ano e no conjunto de ambos os anos.

Se considerarmos todas as dimensões que dizem respeito aos riscos no seu conjunto, que contribuem para a segurança ou a sua ausência, o que inclui os riscos para a saúde, ambiente e de acidente, devido às substâncias, e riscos de acidente devido aos equipamentos, instrumentação, montagens ou outros materiais vulgares de laboratório (dimensões 1-7), verifica-se que 75 e 73% das experiências dos 10º e 11º anos, respetivamente, e 73% no conjunto das experiências de ambos os anos, apresentam pelo menos um desses riscos, embora alguns desses riscos possam estar ausentes em mais de 60% das experiências, por exemplo, os riscos para o ambiente (dimensão 2) que aparecem como pontos fortes.

Aparecem como pontos fracos, em mais de 60% das experiências de cada um dos anos, a utilização de substâncias renováveis e de substâncias degradáveis a produtos inócuos (a água não é contabilizada em ambos os casos) (dimensões 11 e 12, respetivamente), a utilização de materiais do quotidiano (a água não é contabilizada) (dimensão 16), a relação com a Química Industrial e outras situações do quotidiano (dimensões 17 e 18, respetivamente) e a utilização de equipamentos e instrumentação (dimensões 19 e 20, respetivamente). O consumo energético (dimensão 13) aparece como um ponto fraco para o 10º ano, significando a necessidade de aquecimento em mais de 60 % das experiências.

5.5.2. Avaliação da frequência de pontos fortes e fracos

Considerando a percentagem de pontos fortes e fracos presentes, os resultados para o conjunto dos dois anos são resumidos nos gráficos da Figura 5.5, para o conjunto das experiências dos 10º e 11º anos. Pode concluir-se que 70% das experiências apresentam 50% ou menos, de pontos fortes, e 40% apresentam 50% ou mais, de pontos fracos.

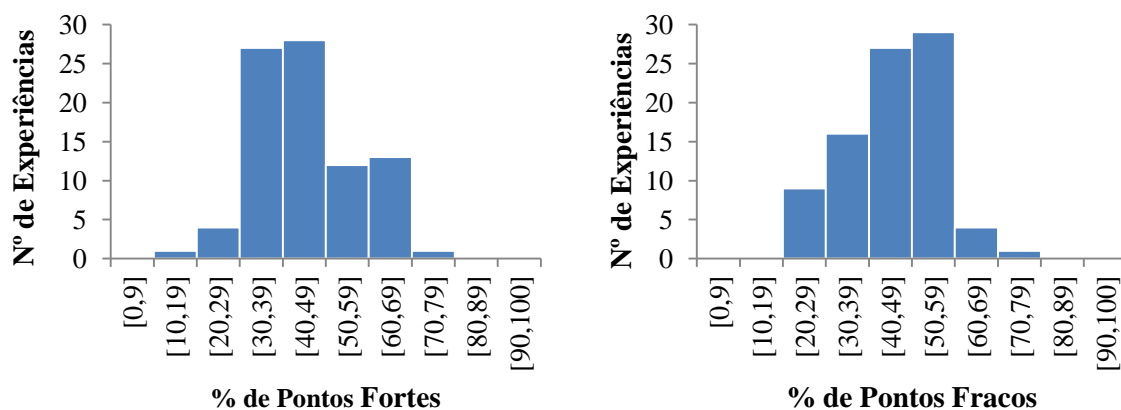


Figura 5.5. Distribuição da frequência do conjunto das experiências dos 10º e 11º Anos em função da % de pontos fortes e fracos. Número total de experiências: 86.

5.5.3. Avaliação de cada experiência relativamente aos pontos fortes e fracos

Nesta análise, as experiências que apresentam razão superior ou igual a 0,50 entre o número de pontos fracos identificados/número de pontos fracos avaliados poderão ser consideradas inadequadas ao ensino CTSS (embora o número de pontos fracos por si só, não possa ser considerado um critério definitivo de avaliação, até porque também se tem de entrar em linha de conta com as oportunidades, que podem ser aproveitadas eventualmente para a sua eliminação).

Assim, analisando as experiências do 10º ano verifica-se que um grande número de experiências não parecem adequadas a um ensino CTSS. As experiências que apresentam uma razão superior ou igual a 0,50, correspondem a 50% das experiências (experiências: 3, 5, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20 e 24). Na experiência 3, as componentes Sociedade e Tecnologia estão completamente ausentes e, embora não haja consumo energético, a experiência não utiliza materiais renováveis nem degradáveis, o que faz com que a componente Sustentabilidade esteja pouco envolvida. Por outro lado, esta experiência apresenta dois tipos de riscos elevados para o ambiente e de acidente, o que pode levar à necessidade de substituição atendendo às ameaças apresentadas: a imposição externa de maior segurança (pelo facto de se utilizar hexano (N;F), que envolve riscos elevados para o ambiente e de acidente) e a possível existência de verbas limitadas (o que poderia criar dificuldades na remoção dos resíduos). A experiência apresenta como oportunidade, poder ser realizada a microescala, mas a realização a microescala não permite baixar o número de pontos fracos – permite simplesmente reduzir a quantidade de resíduos criados e a diminuição de riscos por diminuição da exposição e não da perigosidade, no âmbito do *paradigma do risco* (=perigosidade x exposição). Esta experiência não parece adequada ao paradigma em causa.

Na experiência 5, as componentes Sustentabilidade e Sociedade não são identificáveis e embora sejam utilizados equipamentos, não apresenta qualquer relação com a Química Industrial nem utiliza instrumentação, o que faz com que a componente Tecnologia esteja pouco envolvida. Por outro lado, esta experiência apresenta risco elevado de acidente e elevados consumos de água, o que poderá levar à necessidade de substituição, atendendo às ameaças apresentadas - as imposições externas de maior segurança e de redução de consumos de água e energia. A experiência apresenta como oportunidades poder ser realizada à microescala e a água de refrigeração poder ser utilizada. A realização a microescala não permite baixar o número de pontos fracos como referido anteriormente, mas a reutilização da água permite reduzir um ponto fraco, o que faz com que a relação entre o número de pontos fracos identificados/número de pontos fracos avaliados fosse inferior a 0,50.

Nas experiências 7, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20 e 24 estão ausentes duas ou mais componentes CTSS (nas experiências 14 e 24, as componentes Sociedade e Tecnologia, nas experiências 7, 10, 11, 12 e 13, as componentes Sociedade e Sustentabilidade e nas experiências 18, 19 e 20, as três componentes CTSS), não apresentando oportunidades, no entanto, revelam várias ameaças, pelo que estas experiências não estão de todo adequadas a um ensino CTSS.

Relativamente às experiências do 11º ano, verifica-se que um grande número não aparenta adequação a um ensino CTSS, pois cerca de 60% das mesmas apresentam uma razão superior a 0,50 no que concerne ao número de pontos fracos identificados/número de pontos fracos avaliados (experiências: 1-10, 15, 16, 20, 24, 25, 27-38, 42, 43, 45, 49-51 e 53-57). Destas experiências, apenas a 5 apresenta uma oportunidade – poder ser realizada a microescala – a qual não permite baixar o número de pontos fracos, como explicado anteriormente. Para além disso, nesta experiência estão ausentes as componentes Sustentabilidade e Sociedade, pelo que não é adequada a um ensino CTSS. Nas experiências 1 a 4, a componente Sociedade é omissa, acrescendo ainda o facto de apresentarem três tipos de riscos envolvidos nas dimensões 1-7, o que poderá levar à necessidade de substituição, atendendo às várias ameaças identificadas (três ameaças). Face a estes aspetos e à inexistência de oportunidades, estas experiências não são de todo adequadas a um ensino CTSS. Nas experiências 7-10, 15, 16, 20, 24, 25, 27-38, 42, 43, 45, 49-51 e 53-57 estão ausentes duas ou mais componentes CTSS (nas experiências 7-10, 15, 16, 20, 24, 25, 27-38, 42, 43, 45, 49-51 e 53-56, as componentes Sociedade e Tecnologia, e nas experiências 5 e 57, as três componentes CTSS) pelo que não parecem apropriadas a um ensino CTSS.

5.5.4. Relevância do CTSS

Em face do objetivo último do trabalho, a discussão que se segue será focada em a cada uma das vertentes T (Tecnologia), S (Sociedade) e S (Sustentabilidade) para tirar conclusões sobre a sua relevância nas experiências avaliadas. No que se refere à Tecnologia, os pontos fracos 17 (sem relação com a Química Industrial) estão presentes em 100 e 98% das experiências dos 10º e 11º anos, respetivamente, 19 (não se utilizam equipamentos) em 88 e 100% das experiências dos 10º e 11º anos, respetivamente e 20 (não se utiliza instrumentação) em 63 e 90% das experiências dos 10º e 11º anos, respetivamente, o que significa que a componente Tecnologia, de acordo com os critérios estabelecidos, está praticamente ausente.

No que se refere à Sociedade, os pontos fracos 16 (não se utilizam materiais do quotidiano, para além da água) estão presentes em 79 e 86% das experiências dos 10º e 11º anos, respetivamente, 18 (sem relação com situações da Química do mundo real, para além da Química Industrial) em 96 e 92% das experiências dos 10º e 11º anos, respetivamente, o que significa que a componente Sociedade, de acordo com os critérios estabelecidos, está também praticamente ausente.

No que se refere à Sustentabilidade os pontos fracos 11 (não se utilizam materiais renováveis, estão presentes em 75 e 92% das experiências dos 10º e 11º anos, respetivamente, 12 (não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água) estão presentes em 71 e 74% das experiências dos 10º e 11º anos, respetivamente, e 13 (consumo energético, é necessário aquecer) está presente em 67% das experiências do 10º ano, o que pode causar dificuldades à realização destas experiências, atendendo à ameaça identificada de imposição externa de redução de consumo de energia. Por outro lado 75 e 73% das experiências dos 10º e 11º anos, respetivamente, apresentam pelo menos um tipo de riscos envolvidos nas dimensões 1-7, o que pode levar à necessidade de substituição das experiências atendendo às ameaças identificadas, tais como a imposição externa de maior segurança, ameaça presente em 67 e 73% das experiências dos 10º e 11º anos, respetivamente, ou a ausência de hottes suficientes nas escolas, ameaça presente em 33 e 16% das experiências dos 10º e 11º anos, respetivamente. Os aspetos acabados de referir são negativos e dificultam a inclusão das experiências nesta vertente. O pontos fortes 8-10 (baixo consumo de água e de outros solventes) presentes em 79 e 83% das experiências dos 10º e 11º anos, respetivamente e 13 (consumo energético, as experiências realizam-se à temperatura ambiente) presente em 90% das experiências do 11º ano, são aspetos positivos para a inclusão das experiências na vertente Sustentabilidade. Estes aspetos positivos podem ser aumentados se forem tidas em conta as oportunidades identificadas no sentido da realização a microescala,

da substituição de condensadores de Liebig por colunas de ar e/ou da reutilização da água de refrigeração utilizada nas destilações.

Em suma, os aspetos de segurança são importantes para a inclusão/exclusão das experiências num modelo CTSS e poucas experiências envolvem materiais do quotidiano (para além da água), instrumentação, equipamentos, materiais renováveis e degradáveis a produtos inócuos, e se relacionam com a Química do mundo real. Só uma experiência se relaciona com a Química Industrial (experiência 5, do 11º ano), síntese em que o composto sintetizado tem aplicação real, aliás a única síntese proposta nos programas dos 10º e 11º anos. As experiências de síntese são adequadas a este tipo de ensino, particularmente se tiverem aplicação real na indústria, isto é, se os compostos forem produzidos industrialmente, pois colocam em jogo aspetos que excedem o habitual cálculo de rendimentos e que são possíveis de discussões formativas – aspetos químicos tais como reação química, estequiometria, equilíbrio, cinética, energia, etc., bem como aspetos ambientalmente relevantes como os de segurança, formação de resíduos, otimização da economia atómica e de verdura química. Por estas razões, as experiências de síntese contribuem frequentemente para uma abordagem ampla da Química, num contexto industrial e societal, bem inserida numa opção CTSS para o ensino da Química – a sua quase absoluta ausência dos atuais programas do secundário [6] é extremamente lamentável. Mas, neste contexto, o desafio é propor sínteses que, ao mesmo tempo, envolvam riscos baixos, materiais renováveis, degradáveis e do quotidiano e tenham aplicação real na indústria, o que não é fácil. Por outro lado, seria importante caracterizar o produto obtido em termos da sua pureza, de forma a utilizar-se instrumentação. É também de referir que as destilações implicam um elevado consumo de água, o que deve ser motivo de preocupação, sendo importante pensar-se na reutilização da água. A adoção de uma proposta deste tipo, num enquadramento CTSS, que presentemente se impõe, exigirá a elaboração e desenho de novas experiências e profundas alterações dos programas atuais.

5.6. Conclusões

A utilização da análise SWOT na avaliação das atividades laboratoriais de Química do Ensino Secundário permitiu apreciar as atividades numa perspetiva CTSS, englobando na avaliação aspetos relacionados com a Tecnologia, Sociedade e Sustentabilidade. Num futuro que se espera próximo, as atividades laboratoriais para o ensino da Química devem ser cuidadosamente escolhidas e desenhadas de forma a adequarem-se a um ensino CTSS.

A análise SWOT permitirá outras avaliações, após definição de outras dimensões de análise, por exemplo, dirigidas aos objetivos definidos, às competências a desenvolver e à metodologia a utilizar na sala de aula para atingir os objetivos e promover o desenvolvimento das competências. Nestas últimas será de incluir as competências verdes, necessárias para atividades profissionais verdes, resultantes da introdução de práticas e tecnologias verdes, que merecem crescente atenção no âmbito da formação dos alunos [13]. Por isso, parece ser uma ferramenta com lato alcance no domínio da Química e que merece continuar a ser explorada.

Em suma, o tipo de análise apresentado pode ser útil na avaliação, no desenho, ou no redesenho de atividades laboratoriais, tendo em vista a sua inserção num ensino da Química de cariz CTSS, essencial no presente contexto de luta *societal* pela Sustentabilidade, em que a inovação da tecnologia adquire um papel fulcral.

5.7. Bibliografia

1. G. Aikenhead, *What is STS science teaching?*, in J. Solomon e G. Aikenhead (eds), *STS Education – International Perspectives on Reform*, TCP (1994), p. 47-59.
2. E. Pedretti, J. Nazir, *Currents in STSE education: Mapping a complex field, 40 years on*, *Science Education* **95** (2011) DOI: 10.1002/sce.20435.
3. A. Wals, *Learning for a Sustainable World*, UNESCO, 2009.
4. L. Wong (ed), *Globalization and Education for Sustainable Development - Sustaining the future*, UNESCO, 2005.
5. A. A. S. C. Machado, *Da Pobreza Química à Sustentabilidade e Química Verde*, *Boletim S. P. Q.* **114** (2009) 27-33.
6. Web: http://sitio.dgdc.min-edu.pt/secundario/paginas/programas_es_f.aspx (Direcção Geral de Inovação e Desenvolvimento Curricular, acedido em 23-02-2011).
7. D. A. Costa, M. G. T. C. Ribeiro, A. A. S. C. Machado, *Análise da Verdura das Actividades Laboratoriais do 10º ano do Ensino Secundário*, *Boletim S. P. Q.* **115** (2009) 41-49.
8. D. A. Costa, M. G. T. C. Ribeiro, A. A. S. C. Machado, *Análise da Verdura das Actividades Laboratoriais do 11º ano do Ensino Secundário*, *Boletim S. P. Q.* aceite.
9. S. E. Jackson, A. Joshi, N. L. Erhardt, *Recent Research on Team and Organizational Diversity: SWOT Analysis and Implications*, *Journal of Management* **29** (2003) 801-830.
10. M. Deetlefs, K. R. Seddon, *Green Chemistry* **12** (2010) 17-30.
11. G. Sin, S. W. H. Van Hulle, D. J. W. De Pauw, A. van Griensven, P. A. Vanrolleghem, *A critical comparison of systematic calibration protocols for activated sludge models: A SWOT analysis*, *Water Research* **39** (2005) 2459–2474.
12. B. S. Spector, *Qualitative Research: Data Analysis Framework Generating Grounded Theory Applicable to the Crisis in Science Education*, *J. Res. Sci. Teach.* **21** (1984) 459-467.
13. European Centre for the Development of Vocational Training (CEDEFOP), *Skills for Green Jobs*, European Synthesis Report, UE, 2010.

CAPÍTULO 6

REAÇÕES DE SÍNTESE

6.1. Objetivo geral

Neste capítulo apresentam-se os resultados de execução laboratorial e avaliação de verdures de duas experiências de reações de síntese, as do chamado “ciclo do cobre” [1] e a síntese da dibenzalacetona [2]. O objetivo do trabalho foi avaliar (e otimizar, no caso do ciclo do cobre) a verdures das sínteses utilizando métricas de QV, nomeadamente a EV, bem como investigar eventuais influências da mudança de escala de realização laboratorial das sínteses na verdures.

Neste capítulo, começa por fazer-se uma breve introdução ao conceito de verdures, e apresentam-se as várias métricas da QV utilizadas na análise dos resultados experimentais. De seguida, apresenta-se o trabalho experimental desenvolvido; para cada uma das reações de síntese efetua-se uma breve descrição da mesma, indicando os objetivos e a estratégia seguida, assim como o protocolo utilizado. Depois, para cada uma das experiências, apresentam-se os resultados obtidos, a sua análise/discussão e as conclusões. No final do capítulo é feita uma conclusão geral do capítulo.

6.2. Verdures química e sua avaliação

A verdures química é uma grandeza complexa e elusiva, constituída por variadas componentes de natureza química (por exemplo, incorporar os átomos dos reagentes no produto e não os desperdiçar em resíduos, usar reagentes e reações seguras, etc.), ambiental (não produzir resíduos e poluentes, especialmente se tóxicos, usar matérias-primas renováveis, etc.), energética, etc. [3].

Para avaliar a verdures dos processos e reações químicas aplicam-se métricas, que são fundamentalmente de dois tipos: métricas de massa [4], para avaliar a verdures química intrínseca das reações em termos do cumprimento dos dois primeiros princípios da QV; e métricas ambientais [5,6] e holísticas [3,7], para avaliação das várias facetas da benignidade a diversas escalas, associadas aos restantes princípios. As métricas energéticas procuram avaliar a eficiência energética de um processo ou reação química, associadas ao sexto princípio.

A eficácia da utilização dos átomos dos reagentes nos produtos é traduzida pela produtividade atômica. O conceito de produtividade atômica é complexo e as suas métricas consideram separadamente o que sucede aos átomos nas reações químicas quando passam dos reagentes para o produto final ou para resíduos, sendo por isso de dois tipos:

- (i) incorporação dos átomos reagentes no produto;
- (ii) minimização da produção de resíduos [4].

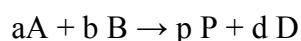
A incorporação dos átomos dos reagentes no produto numa reação de síntese pode ser avaliada por meio de várias métricas (ver definições adiante): utilização atômica percentual (AU), a economia atômica percentual (AE), eficiência de massa (RME) e eficiência elementar percentual do elemento X (XEE). Estas são métricas que avaliam a verduza diretamente – aumentam quando a verduza aumenta.

Para avaliar a extensão da formação de resíduos podem-se usar as seguintes métricas: fator ambiental (Fator E) e intensidade de massa (MI). Estas são métricas indirectas – diminuem quando a verduza aumenta.

No contexto educacional, para além das métricas de massa acima referidas, pode usar-se a Estrela Verde (EV), para avaliar a verduza numa perspetiva global. Esta métrica é holística pois considera todos os Princípios da QV aplicáveis a cada situação.

6.2.1. Métricas de massa da Química Verde

Apresentam-se em seguida, as métricas utilizadas neste trabalho que envolvem reações com dois ou três reagentes estequiométricos. No caso de dois reagentes estequiométricos, a equação será



e no caso de três reagentes estequiométricos,



onde A, B e C representam os reagentes estequiométricos (sendo A o reagente limitante), P o produto, D os co-produtos e a, b, c, p, d os coeficientes estequiométricos. Nas expressões seguintes, n_A , n_B , n_C , n_P e m_A , m_B , m_C , m_P representam as quantidades (mol) e as massas dos reagentes estequiométricos e produtos, n'_B , n'_C , m'_B , m'_C as quantidade (mol) e massas dos reagentes estequiométricos B e C, referentes às proporções estequiométricas, m_w a massa total dos resíduos, m_s massa de solventes e m_{aux} massa de outros reagentes auxiliares, n_{XA} , n_{XB} , n_{XC} , n_{XP} o número de átomos do elemento X nas fórmulas moleculares dos reagentes estequiométricos e dos produtos, MW_A , MW_B , MW_C , MW_P as massas molares dos reagentes estequiométricos e dos produtos e η o rendimento em percentagem.

Fator E (“Environmental factor”) – O fator E é definido como a razão entre a massa total dos resíduos produzidos e a massa do produto obtido

$$\text{Fator E} = \frac{m_{\text{resíduos totais}}}{m_{\text{produtos}}} \quad (1)$$

O fator E permite avaliar a extensão da formação de resíduos. O valor ideal (mínimo) do Fator E é zero, que ocorreria se não houvesse produção de quaisquer resíduos.

Intensidade de Massa, MI (“Mass intensity”) – É definida como a razão entre a massa total de materiais usados num processo (reagentes, solventes, outros materiais auxiliares) e a massa de produto obtido

$$\text{MI} = \frac{m_{\text{reagentes totais}}}{m_{\text{produto}}} \quad (2)$$

O MI permite avaliar a extensão da formação de resíduos, sendo uma alternativa ao Fator E. O valor ideal (mínimo) é um.

Utilização Atômica Percentual, AU (Atomic Utilization) – Define-se como a razão entre a massa de produto e a soma das massas de todas as substâncias produzidas na reação (produtos e coprodutos), expressa em percentagem. A massa de resíduos pode ser calculada como a diferença entre a massa de reagentes estequiométricos e a massa de produto obtido (se o rendimento for 100%, a massa de coprodutos será igual à massa de resíduos). A métrica pode ser calculada pela expressão

$$\text{AU} = \frac{m_{\text{produto}}}{m_{\text{produto}} + m_{\text{coprodutos}}} \times 100 \quad (3)$$

Esta métrica permite avaliar a fração de átomos de reagentes englobados no produto. O valor ideal (máximo) será 100%.

Economia Atômica Percentual, AE (Atomic Economy) – É definida como a razão entre a massa de átomos de reagentes que são incorporados no produto e a massa total de átomos nos reagentes estequiométricos, expressa em percentagem

$$\text{AE (teórico)} = \frac{m_{\text{átomos de reagentes estequiométricos no produto}}}{m_{\text{total de átomos de reagentes estequiométricos}}} \times 100 \quad (4)$$

Esta métrica permite avaliar a incorporação dos átomos dos reagentes no produto, excluindo reagentes auxiliares, catalisadores, solventes, etc. O valor ideal (máximo) será 100%.

A partir da expressão 4 obtém-se as fórmulas

$$\text{AE} = 100 \frac{p \text{ MW}_P}{a \text{ MW}_A + b \text{ MW}_B} \quad (5)$$

para reações com dois reagentes estequiométricos e

$$AE = 100 \frac{p MW_P}{a MW_A + b MW_B + c MW_C} \quad (6)$$

para reações com três reagentes estequiométricos.

Eficiência de Massa da Reação, RME – É definida como a razão entre a massa do produto efetivamente obtido e a massa total de reagentes estequiométricos usados na reação, expressa em percentagem

$$RME = \frac{m_{\text{produto}}}{m_{\text{reagentes estequiométricos}}} \times 100 \quad (7)$$

A RME permite avaliar a percentagem de produto obtido relativamente à quantidade de reagentes estequiométricos utilizados. O valor ideal (máximo) será 100%.

Eficiência Elementar Percentual do elemento X, XEE – É definida como a razão entre a massa do elemento do produto obtido e a massa do elemento nos reagentes estequiométricos, expresso em percentagem

$$XEE = \frac{m_X \text{ no produto}}{m_X \text{ nos reagentes estequiométricos}} \times 100 \quad (8)$$

Esta métrica permite avaliar a incorporação de um determinado elemento X no produto. O valor ideal (máximo) será 100%.

A partir da expressão 8 obtém-se as fórmulas (dedução no anexo VI)

$$XEE = 100 \frac{n_P n_{XP}}{(n_A n_{XA}) + (n_B n_{XB})} \quad (9)$$

para reações com dois reagentes estequiométricos e

$$XEE = 100 \frac{n_P n_{XP}}{(n_A n_{XA}) + (n_B n_{XB}) + (n_C n_{XC})} \quad (10)$$

para reações com três reagentes estequiométricos.

Na Tabela 6.1 apresentam-se fórmulas para reações com dois e três reagentes estequiométricos que relacionam as métricas de massa da QV com o rendimento (dedução no anexo VI).

Tabela 6.1. Relação entre as métricas de massa da QV e o rendimento

$a A + b B \rightarrow p P + d D$	
$MI = \left(\frac{a}{p}\right) \left(\frac{1}{MW_P}\right) \left(\frac{100}{\eta}\right) [MW_A + MW_B \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{m_B}{m'_B}\right) + MW_A \left(\frac{m_{aux} + m_s}{m_A}\right)]$	(11)
$RME = \left(\frac{p}{a}\right) (\eta) \frac{MW_P}{MW_A + \left(\frac{b}{a}\right) (MW_B) \frac{m_B}{m'_B}}$	(12)
$XEE = \frac{\left(\frac{p}{a}\right) \left(\frac{n_{XP}}{n_{XA}}\right) \eta}{1 + \left(\frac{n_{XB}}{n_{XA}}\right) \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{n_B}{n'_B}\right)}$	(13)
$a A + b B + c C \rightarrow p P + d D$	
$MI = \left(\frac{a}{p}\right) \left(\frac{1}{MW_P}\right) \left(\frac{100}{\eta}\right) [MW_A + MW_B \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{m_B}{m'_B}\right) + MW_C \left(\frac{c}{a}\right) \left(\frac{m_C}{m'_C}\right) + MW_A \left(\frac{m_{aux} + m_s}{m_A}\right)]$	(14)
$RME = \left(\frac{p}{a}\right) \eta \left(\frac{MW_P}{MW_A}\right) \frac{MW_A}{MW_A + \left(\frac{b}{a}\right) (MW_B) \frac{m_B}{m'_B} + \left(\frac{c}{a}\right) (MW_C) \frac{m_C}{m'_C}}$	(15)
$XEE = \frac{\left(\frac{p}{a}\right) \left(\frac{n_{XP}}{n_{XA}}\right) \eta}{1 + \left(\frac{n_{XB}}{n_{XA}}\right) \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{n_B}{n'_B}\right) + \left(\frac{n_{XC}}{n_{XA}}\right) \left(\frac{c}{a}\right) \left(\frac{n_C}{n'_C}\right)}$	(16)

6.2.2. Métricas holísticas

Para além da EV existem outras métricas holísticas utilizadas na literatura, por exemplo, a *Ecoscale* [7]. A *EcoScale* apresenta algumas limitações relativamente à EV, pois não tem em consideração os seguintes aspetos: a segurança dos resíduos produzidos, a economia atómica, a utilização de substâncias renováveis e a degradabilidade das substâncias envolvidas. Por outro lado, ao contrário da EV, o cálculo da *EcoScale* exige o valor do rendimento obtido; como os protocolos apresentados na literatura nem sempre o referem, isto torna-se uma limitação, já que geralmente não se pode utilizar esta métrica para escolher um protocolo em detrimento de outro. Pelas razões expostas, a EV parece ser mais útil do que a *EcoScale* na avaliação da veracidade de reações químicas, nomeadamente em laboratórios de ensino [3].

6.2.3. Métrica energética

Do ponto de vista ambiental, é importante avaliar o consumo de energia numa reação química ou processo. Uma métrica utilizada para este fim é a intensidade de energia (IE) que é definida como a energia consumida por unidade de massa de produto, expressa em Wh/g.

$$IE = \frac{\text{energia}}{\text{massa de produto}} \quad (15)$$

6.3. Ciclo do cobre

Nesta atividade experimental, realizam-se uma série de reações químicas que envolvem o elemento cobre e que, por terem o cobre metálico como reagente inicial e produto final da reação, podem ser designadas por “ciclo do cobre”. Inicialmente, produz-se óxido de cobre a partir do cobre metálico, e em seguida recupera-se o cobre a partir do óxido de cobre.

Esta atividade experimental enquadra-se no programa de Química, do 12º ano, na unidade 1 – “Metais e Ligas metálicas”.

Os objetivos propostos no programa para esta atividade são [8]:

1. Caracterizar a reatividade de elementos metálicos, tendo como exemplo a reatividade do cobre.
2. Reconhecer a importância da reciclagem do cobre e as potencialidades da reciclagem dos metais em geral.
3. Identificar alguns problemas de poluição relacionados com a reciclagem do cobre.

O estudo desta atividade foi incluído no presente trabalho para avaliar a respetiva veracidade, utilizando as métricas de massa de QV e a EV, e para procurar otimizar sua realização laboratorial para aumentar essa veracidade. No entanto, atendendo ao segundo objetivo do programa, procedeu-se a um levantamento de como se faz atualmente, a nível industrial, a reciclagem do cobre.

6.3.1. A reciclagem do cobre na Química real

A utilização do cobre remonta há mais de 7000 anos – esta utilização precoce resultou do metal se encontrar à superfície da Terra no estado nativo e de ser facilmente trabalhado (elevada maleabilidade) [9]. Segundo os historiadores, a primeira Idade do Cobre teve o seu maior desenvolvimento no Egito. Encontraram-se provas da exploração de minas de cobre

na península do Sinai, que remontam ao ano 3800 A. C. [10]. Foram também célebres na Antiguidade, os jazigos de cobre na ilha de Chipre, de tal modo, que foi dado ao metal o nome latino desta ilha, *cuprum*. O cobre era muito utilizado no fabrico de armas e utensílios. Mais recentemente, no século XX, o cobre foi um fator importantíssimo do desenvolvimento industrial, especialmente no transporte da corrente elétrica, o que levou a um grande desenvolvimento da indústria cuprífera [11].

Atualmente o cobre é o terceiro metal mais usado, após o ferro e o alumínio, sendo utilizado em cabos elétricos, moedas, caldeiras, tubos, válvulas, torneiras, ligas metálicas, revestimento de telhados e fachadas, utensílios de cozinha, etc.. Os compostos cuprosos (Cu^+) e cúpricos (Cu^{2+}) são muito diversos, apresentando também um vasto leque de aplicações. O cloreto cuproso é muito usado como catalisador, como agente dessulfurizante ou ainda como branqueador na indústria petrolífera. O cloreto cúprico usa-se na tinturaria têxtil, como agente oxidante em corantes e como fungicida. O óxido cuproso usa-se na pintura de cascos de navios, de madeira ou aço, para proteger da ação desgastante da água do mar. O nitrato cúprico é usado para sensibilizar superfícies à luz, enquanto o fluoreto se utiliza como opacificador em esmaltes, vidros e cerâmicas. O sulfato de cobre é usado como fungicida, inseticida e como aditivo dos solos, para evitar que as deficiências de cobre afetem as colheitas [12].

O cobre está bastante distribuído por toda a Terra, sendo particularmente comum encontrá-lo combinado com ferro, carbono, oxigénio e enxofre. São conhecidos mais de centena e meia de minerais de cobre, mas os mais comuns são os sulfuretos e os óxidos: calcosite (Cu_2S), cuprite (Cu_2O), calcopirite (CuFeS_2) e malaquite ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$). Os minerais com maior interesse comercial são a calcosite que possui 79,8 % de cobre, e a calcopirite com 34,5 % [12]

Em 2007, os principais produtores de cobre a nível mundial foram os países que detêm as maiores reservas de minério - China, Chile, e os EUA [13]. A extração mineira do cobre normalmente é feita em minas a céu aberto, não sendo efetuada em profundidade devido aos seus elevados custos [12]. Depois da extração do minério, o cobre é obtido a partir da concentração do minério, sendo grande parte das impurezas, escória de silicato. A escória é retirada e a purificação final do cobre é feita electroliticamente [14].

No plano mundial, cerca de 35% das necessidades de cobre são supridas pela reciclagem do cobre encontrado em computadores, equipamentos eletrónicos, válvulas e eletrodomésticos [15]. O cobre pode ser reciclado praticamente sem perda da qualidade química ou física. Estima-se que 80% de todo o cobre extraído ainda se encontra em circulação, devido às elevadas taxas de reciclagem [16]. Atualmente, a indústria da

reciclagem do cobre representa uma economia de 85%, em relação à produção primária, correspondente à extração [15]. Quando o cobre que se pretende reciclar é de boa qualidade e com alta condutibilidade ou quando a aplicação que ele vai ter é a mesma (por exemplo materiais de construção, tubos de aquecimento, etc.), a reciclagem pode ser efetuada separando previamente o cobre de outros materiais como plásticos e borracha e depois efetua-se uma simples fusão. No entanto, este processo só é válido para sucatas obtidas em ambientes que têm exclusivamente cobre. Quando se utiliza como matéria-prima, cobre que está contaminado com outras substâncias, normalmente será necessário fundi-lo no formato de ânodo para que seja purificado eletroliticamente [15].

6.3.2. Objetivos

Definiram-se como objetivos para esta atividade:

- Avaliar a veracidade da experiência realizada a macro e microescala, bem como dos subprocessos e do processo global, a partir de um protocolo proposto na literatura [1], utilizando as métricas de massa da QV (referidas atrás) e a EV.
- Otimizar a veracidade através de alterações ao protocolo.
- Variar a escala e avaliar eventuais influências da alteração de escala na veracidade.

Definiu-se ainda como objetivo lateral identificar se esta atividade se relaciona com a Química real.

6.3.3. Trabalho experimental

6.3.3.1. Estratégia para o trabalho experimental

O trabalho experimental, desenvolvido em três fases, é apresentado resumidamente no diagrama da Figura 6.1 e descrito seguidamente em detalhe.

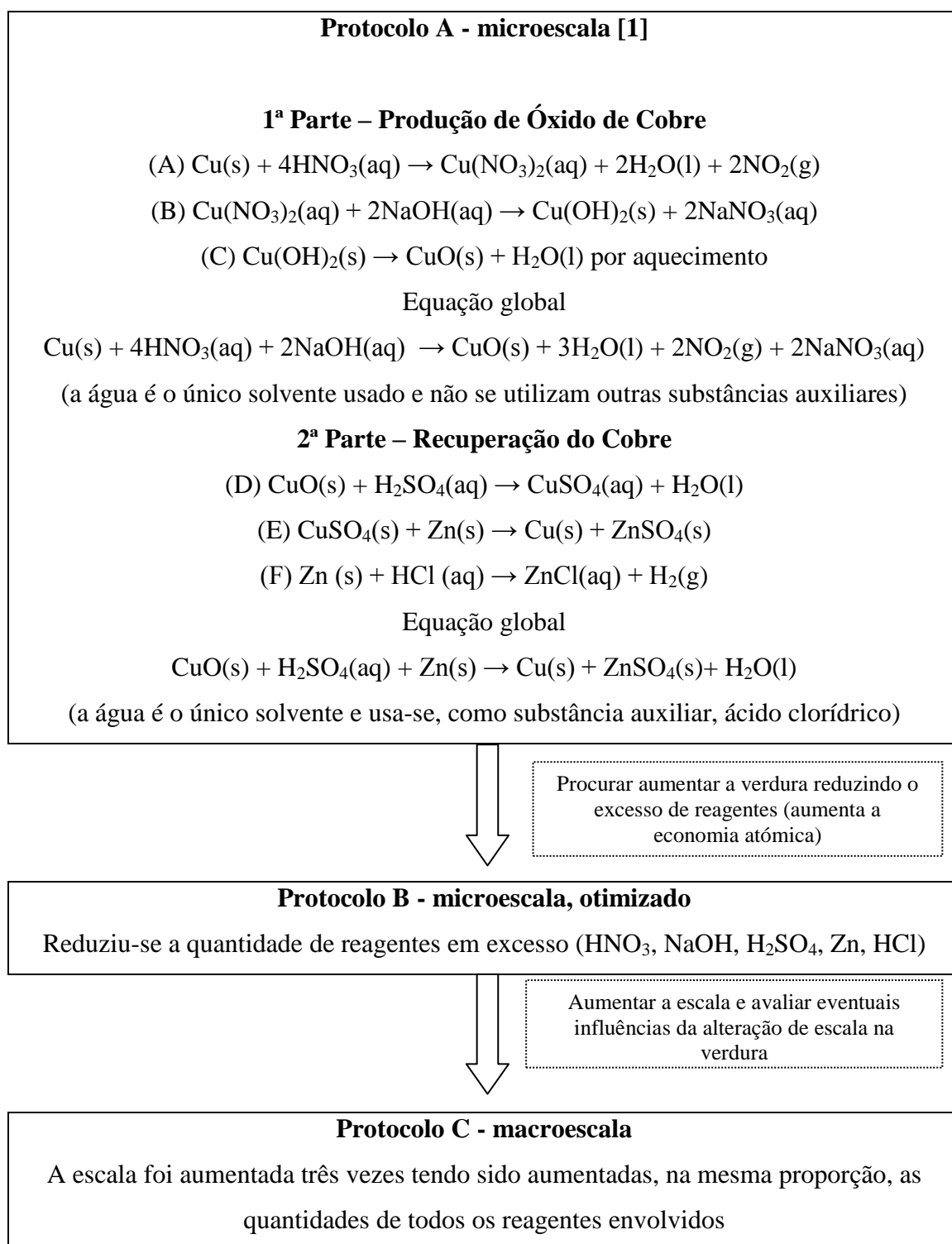


Figura 6.1. Estratégia para a otimização da vedura do ciclo do cobre

6.3.3.2. Ciclo de cobre a microescala

O procedimento é apresentado em duas partes, a produção do óxido de cobre e a recuperação do cobre, conforme diagramas das Figuras 6.2 e 6.3, detalhadas a seguir.

1ª Parte – Produção do óxido de cobre

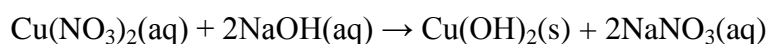
Reação A - Preparação de solução de nitrato de cobre (II)



Adicionar HNO_3 (6 mol dm^{-3}) ao Cu e aquecer até à dissolução completa



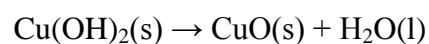
Reação B - Preparação do hidróxido de cobre (II)



À solução anterior, em banho de gelo, adicionar uma solução aquosa de NaOH (6 mol dm^{-3}) até que se forme o precipitado de Cu(OH)



Reação C - Preparação do óxido de cobre (II)



Aquecer a mistura anterior em banho de areia até que se forme o precipitado de CuO



Obtenção do óxido de cobre (II)

Filtrar por gravidade a mistura anterior e recuperar o CuO



Figura 6.2. Diagrama para a produção do óxido de cobre

2ª Parte – Recuperação do cobre

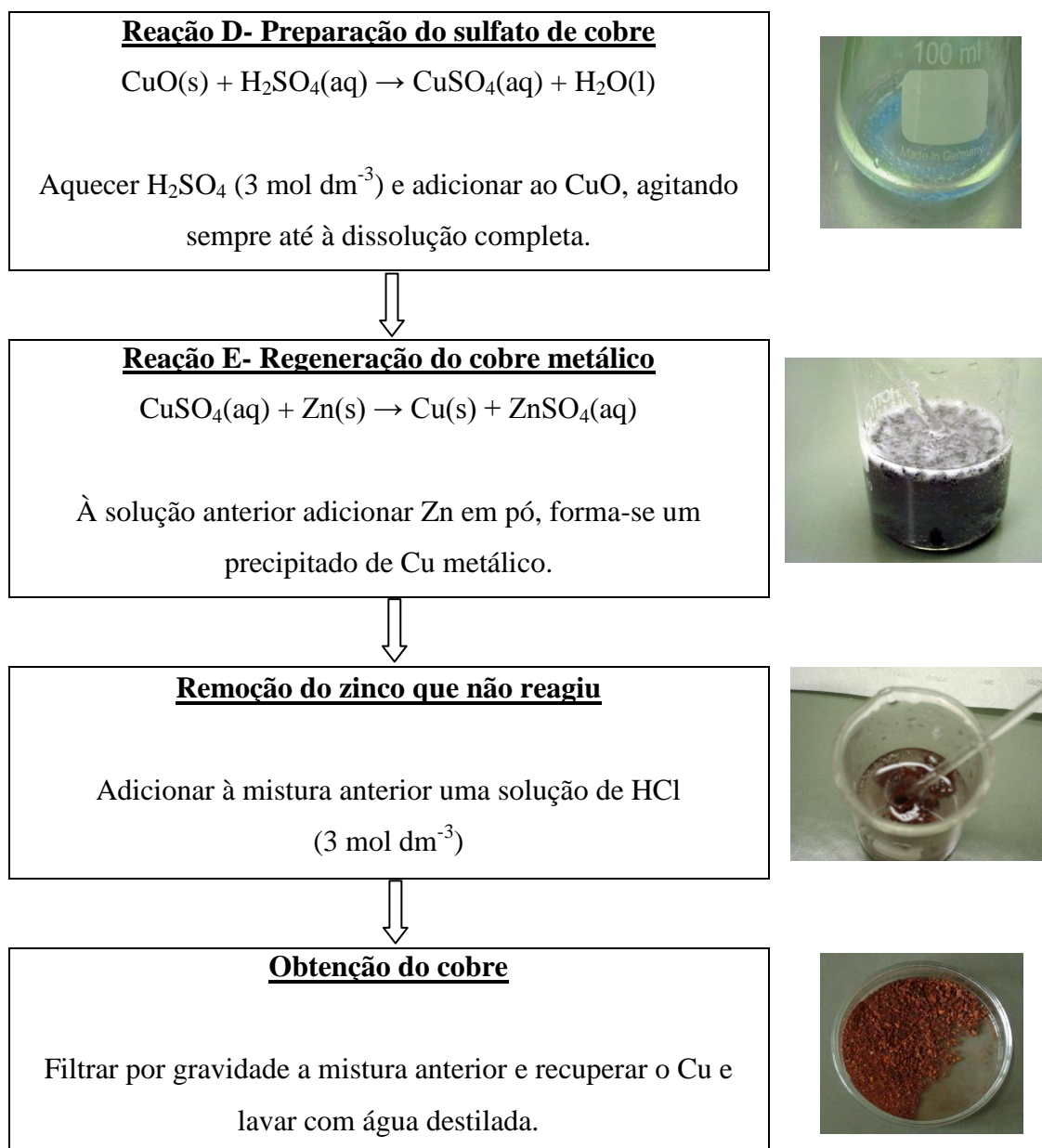


Figura 6.3. Diagrama para a recuperação do cobre

1ª Parte – Produção do óxido de cobre

Na hotte, num erlenmeyer de 10 mL colocaram-se 100 mg (1,57 mmol) de folha de cobre metálico, a que se adicionaram 2,00 mL (12,00 mmol) de ácido nítrico 6 mol dm^{-3} e aqueceu-se até que o cobre se dissolveu completamente. Deixou-se arrefecer a mistura à temperatura ambiente e adicionou-se 2,00 mL de água destilada. Colocou-se o erlenmeyer num banho de água e gelo e adicionaram-se lentamente em incrementos de 0,5 mL, 10,00 mL (60,00 mmol) de uma solução aquosa de hidróxido de sódio 6 mol dm^{-3} , mantendo agitação constante. Formou-se o precipitado de hidróxido de cobre. Em seguida, aqueceu-se a mistura,

usando um banho de areia, com agitação constante, até se formar um precipitado preto de hidróxido de cobre. Deixou arrefecer-se o produto até à temperatura ambiente e filtrou-se por gravidade. Lavou-se o erlenmeyer com água destilada, por três vezes, usando 2 mL de água em cada lavagem. Deixou-se o óxido de cobre secar no papel de filtro num excicador sobre sulfato de cálcio anidro. O sólido foi deixado a secar durante uma semana e pesou-se o óxido de cobre até que a variação de massa entre pesagens fosse menor do que 1%.

Neste procedimento utilizou-se um excesso de ácido nítrico, cerca de 87,6% e um excesso de solução aquosa de hidróxido de sódio, cerca de 1776%. O rendimento médio obtido foi de 94% (3 experiências, média 94,3%, desvio padrão $\pm 0,9$).

2ª Parte – Recuperação do cobre

Colocou-se num gobelé de 25 mL o óxido de cobre obtido na primeira parte a que se adicionou 6,00 mL (18,00 mmol) de ácido sulfúrico 3 mol dm^{-3} previamente aquecido, com agitação constante, até que todo o sólido se dissolvesse completamente. Em seguida, adicionaram-se 2 mL de água destilada. À solução de sulfato de cobre(II) obtida adicionou-se, na hotte, cerca de 800 mg (12,23 mmol) de zinco em pó até que a cor azul claro da solução desaparecesse e o cobre precipitasse (a adição de zinco efetuou-se com agitação constante da solução). Para verificar se esta reação ocorreu completamente, adicionou-se uma gota de solução a um tubo de ensaio com 1 mL de uma solução concentrada de amoníaco – a ausência de cor azul escura indicava a completude da reação. Para remover o zinco em pó que não tinha reagido, adicionou-se à mistura 5,00 mL (15,00 mmol) de ácido clorídrico 3 mol dm^{-3} , mantendo a agitação constante. Quando a reação terminou, decantou-se e lavou-se o cobre obtido com porções de 2 mL de água destilada, três vezes. O sólido foi deixado a secar no excicador sobre sulfato de cálcio anidro durante uma semana e depois pesou-se o cobre até que a variação de massa entre pesagens fosse menor do que 1%. Foram realizadas três experiências.

Neste procedimento utilizou-se um excesso de ácido sulfúrico, cerca de 1.090% e um excesso de zinco em pó, cerca de 710%. O rendimento obtido foi 85% (3 experiências, média 84,8%, desvio padrão $\pm 4,5$). O rendimento global do ciclo do cobre foi de 80 % (3 experiências, média 80,0%, desvio padrão $\pm 3,5$).

O protocolo experimental detalhado é apresentado no anexo VIIA.

6.3.3.3. Otimização do ciclo do cobre a microescala

Com base no protocolo A, procurou otimizar-se a experiência no sentido de utilizar menores quantidades de reagentes, sem prejuízo do rendimento. Para isso, na primeira parte (produção de óxido de cobre), foi necessário fazer várias experiências para encontrar os mínimos volumes de ácido nítrico e solução aquosa de hidróxido de sódio que fossem suficientes para dissolver todo o cobre e para garantir que se completasse a precipitação do precipitado azul claro de hidróxido de cobre(II), respetivamente. Por outro lado, era necessário garantir que se continuassem a obter valores elevados para o rendimento. Na segunda parte (recuperação do cobre), também foi necessário fazer várias experiências para: por um lado, encontrar as quantidades mínimas de ácido sulfúrico e de zinco para dissolver todo o óxido de cobre e precipitar todo o cobre metálico, respetivamente; e por outro, encontrar o volume mínimo de ácido clorídrico para remover da mistura todo o zinco que ficou por reagir. Mais uma vez, foi necessário garantir que se obtivessem valores elevados de rendimento. Após terem sido obtidas as proporções ótimas, fizeram-se três experiências seguindo o protocolo anterior, mas com as quantidades encontradas para os reagentes (ácido nítrico (6,60 mmol em vez de 12,00 mmol); hidróxido de sódio (6,00 mmol em vez de 60,00 mmol), ácido sulfúrico (15,00 mmol em vez de 18,0 mmol), zinco (6,94 mmol em vez de 12,23 mmol) e ácido clorídrico (13,50 mmol em vez de 15,00 mmol)).

Na produção do óxido de cobre, o excesso de ácido nítrico passou de 87,6% para 0,82% e o excesso de solução aquosa de hidróxido de sódio passou de 1.776% para 83%. O rendimento médio obtido foi de 98% (3 experiências, média 98,3%, desvio padrão $\pm 1,3$). Na recuperação do cobre, o excesso de ácido sulfúrico passou de 1.090% para 845% e o excesso de zinco em pó passou de 710% para 335%. O rendimento obtido foi de 97% (3 experiências, média 97,5%, desvio padrão $\pm 1,3$). O rendimento global do ciclo do cobre foi de 96 % (3 experiências, média 95,8%, desvio padrão $\pm 2,4$).

O protocolo experimental detalhado é apresentado no anexo VIIB.

6.3.3.4. Ciclo do cobre a macroescala

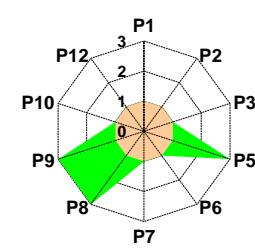
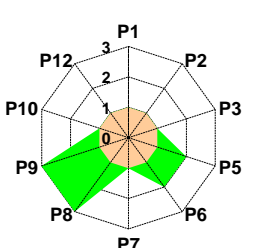
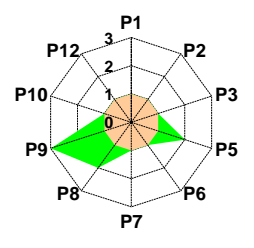
As experiências a macroescala foram realizadas a uma escala três vezes maior, seguindo o procedimento otimizado para as experiências a microescala, mas aumentando proporcionalmente as quantidades de todos os reagentes. Os rendimentos obtidos foram (3 experiências) $96,9 \pm 1,7$ na produção do óxido de cobre, $97,4 \pm 3,1$ na recuperação do cobre e $94,4 \pm 1,7$ no ciclo do cobre.

O protocolo experimental detalhado é apresentado no anexo VIIC.

6.3.4. Resultados experimentais

A partir dos dados experimentais das experiências foram calculadas as seguintes métricas de massa: rendimento, Fator E, MI, AE, RME, AU e CuEE. A métrica holística semiquantitativa EV foi construída a partir dos dados coligidos do modo indicado no capítulo 3, apresentados nas Tabelas 1 a 6 (anexo VII), onde se indicam os componentes e pontuações para desenhar as EV. Os resultados são apresentados na Tabela 6.2.

Tabela 6.2. Métricas de massa para o ciclo do cobre*

Métricas	Produção do óxido de cobre			Recuperação do cobre			Ciclo do cobre		
EV									
IPE	20,00			21,25			12,50		
Procedimento	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Rendimento (%)	94,3±0,9	98,3±1,3	96,9±1,7	84,8±4,5	97,5±1,3	97,4±3,1	80,0±3,5	95,8±2,4	94,4±1,7
Fator E (com H ₂ O)	184,8±4,6	81,3±1,6	51,4±1,2	207,7±8,5	146,6±2,3	109,6±1,6	482,3±19,6	252,4±4,0	177,0±2,6
Fator E (sem H ₂ O)	26,1±0,7	5,01±0,10	5,2±0,1	33,4±1,4	21,8±0,4	22,3±0,4	73,4±3,0	29,5±0,5	30,3±0,5
MI (com H ₂ O)	185,8±4,6	82,3±1,6	52,4±1,2	208,7±8,5	147,6±2,3	110,6±1,6	483,3±19,6	253,4±4,0	178,0±2,6
MI (sem H ₂ O)	27,1±0,7	6,0±0,1	6,2±0,1	34,4±1,4	22,8±0,4	23,3±0,4	74,4±3,0	30,5±0,5	31,3±0,5
AE (%)	20,11	20,11	20,11	28,75	28,75	28,75	11,37	11,37	11,37
RME (%) = AU (%)	3,70±0,09	16,7±0,3	16,1±0,4	3,6±0,2	5,71±0,09	5,51±0,09	1,47±0,06	3,96±0,06	3,83±0,06
CuEE (%)	94,3±0,9	98,3±1,3	96,9±1,7	84,8±4,5	97,5±1,3	97,4±3,1	80,0±3,5	95,8±2,4	94,4±1,7

* A = ciclo do cobre a microescala; B = ciclo do cobre a microescala otimizada; C = ciclo do cobre a macroescala; a água é o único solvente e HCl 3 mol dm⁻³ a única substância auxiliar.

6.3.5. Discussão dos resultados

A análise dos resultados obtidos foi efetuada comparando os vários protocolos, e considerando cada uma das partes e a globalidade da experiência.

Estrela Verde

Pela mera comparação visual das EV na produção do óxido do cobre e na recuperação do cobre, verifica-se que a área verde da primeira é menor que a da segunda (IPE 20,00% e 21,25% respetivamente).

As EV têm pontuação de 1 para o primeiro, segundo, terceiro, sétimo, décimo e décimo segundo princípios, para os dois casos, pelas razões seguintes. Para o primeiro princípio, a produção do óxido de cobre, o resíduo óxido de azoto (T^+) envolve riscos elevados para a saúde e na recuperação do cobre o resíduo sulfato de zinco (N) envolve riscos para o ambiente. Relativamente ao segundo princípio, porque são utilizados excessos de reagentes superiores a 10% e há formação de coprodutos. Para o terceiro, porque são utilizadas substâncias que envolvem riscos elevados para saúde e ambiente (na produção do óxido de cobre, ácido nítrico (C) e hidróxido de sódio (C), e na recuperação do cobre, ácido sulfúrico (C) e zinco (N)) e para o décimo segundo princípio, porque são utilizadas substâncias que envolvem riscos elevados de acidente (na produção do óxido de cobre, ácido nítrico (C), hidróxido de sódio (C), óxido de azoto (T^+) e nitrato de sódio (O); na recuperação do cobre, ácido sulfúrico (C) e cobre (F)). Em relação ao sétimo e décimo princípios, porque não são utilizadas substâncias renováveis e degradáveis com produtos de degradação inócuos.

No que se refere ao oitavo e nono princípios, as EV têm pontuação máxima, pois não estão envolvidas derivatizações e não se utilizam catalisadores.

As EV diferem no quinto e sexto princípios. Na EV da produção do óxido de cobre a pontuação para o quinto princípio é máxima, pois só é utilizada a água como solvente, mas na EV da recuperação do cobre a pontuação é reduzida a 2, pois é utilizado ácido clorídrico (Xi) como substância auxiliar. Para o sexto princípio, a pontuação é reduzida a 1 na produção do óxido de cobre porque é necessário aquecer a uma temperatura superior a 100°C, enquanto que na recuperação do cobre aquece-se a temperatura inferior (pontuação 2).

Não foi possível reduzir excessos de reagentes para valores inferiores a 10%, à exceção do ácido nítrico na produção do óxido de cobre, pelo que a otimização não implicou estrelas mais verdes e, por outro lado, a realização a macroescala não teve influência na EV, já que as substâncias envolvidas foram as mesmas, assim como os protocolos.

A EV global é influenciada pelas EV de cada uma das partes. Para cada princípio, a pontuação da EV global corresponde à pontuação mais baixa das estrelas de cada uma das partes, à exceção do oitavo princípio em que a pontuação é reduzida a 2, pois no processo global considera-se uma derivatização (porque é necessário isolar o óxido de cobre). A EV global tem uma área verde mais reduzida quando comparada com as outras EV (IPE=12,5%).

Métricas de massa

Da análise dos resultados obtidos, verificou-se que a produção do óxido de cobre, a recuperação do cobre e o ciclo do cobre são eficientes, pois os rendimentos obtidos foram elevados em todos os protocolos. Pode então concluir-se que o processo da reciclagem do cobre, do ponto de vista da Química clássica, é vantajoso uma vez que a percentagem de cobre recuperada foi muito elevada.

Os resultados (Tabela 6.2) mostram alguns aspetos que vale a pena discutir antes da comparação com a EV.

Comparação entre os protocolos a microescala (A e B)

Na produção do óxido de cobre, MI (água excluída) é cerca de cinco vezes menor no procedimento B, atendendo fundamentalmente à diminuição dos excessos de reagentes estequiométricos (ácido nítrico e hidróxido de sódio), embora o maior rendimento também influencie a métrica no mesmo sentido (fórmula 14, Tabela 6.1). Pelo contrário RME/AU é cerca de cinco vezes maior, pelas mesmas razões (para variação de RME com o rendimento, ver fórmula 15, Tabela 6.1).

Na recuperação do cobre, MI (água excluída) é cerca de 1,5 vezes menor no procedimento B, atendendo à diminuição dos excessos de reagentes estequiométricos (ácido sulfúrico e zinco), à menor quantidade da substância auxiliar (HCl) e ao maior rendimento obtido. Pelo contrário RME/AU é cerca de 1,6 vezes maior, devido à diminuição dos excessos de reagentes estequiométricos e ao maior rendimento (as substâncias auxiliares não são contabilizadas no seu cálculo).

Os valores do fator E acompanham as variações de MI, devido à relação Fator E=MI+1. Os valores de CuEE são iguais aos valores dos rendimentos obtidos, porque o cobre só existe no produto e num dos reagentes estequiométricos ($n_{XA} = n_{XP} = 1$ e $n_{XB} = n_{Xc} = 0$) pelo que, da fórmula 16 da Tabela 6.1, resulta $CuEE = 100 n_P/n_A = \eta$.

Comparação entre os protocolos a micro (B) e macroescala (C)

Na realização das experiências, pelos dois protocolos, foi garantido que todas as substâncias envolvidas (reagentes estequiométricos, substâncias auxiliares, etc.) estivessem nas mesmas proporções.

Na produção do óxido de cobre, os valores do fator E e de MI (água excluída) são ligeiramente menores no procedimento B (microescala) e os valores do RME e do CuEE são ligeiramente maiores. Isto deve-se ao maior rendimento obtido no procedimento B (fórmulas 14 e 15, Tabela 6.1).

Na recuperação do cobre e no ciclo do cobre (água excluída), os valores das métricas são praticamente iguais (as variações não são significativas), porque o rendimento é praticamente igual em ambos os protocolos.

Quando a água utilizada na preparação das soluções e na lavagem é considerada nos cálculos, os valores do fator E e do MI aumentam muito, sendo muito superiores no procedimento B. Atendendo a dificuldades de transferência de produto a microescala, foi necessário, na lavagem, usar água em quantidade superior, não sendo mantida a mesma proporção de água nos dois protocolos. A inclusão não afeta o cálculo das métricas de incorporação de átomos de reagentes no produto ($RME=AU$ e $CuEE$). Os valores de $CuEE$ são iguais aos valores dos rendimentos obtidos, pelas razões já expostas anteriormente.

Comparação entre as duas fases

Quando se compara o fator E e o MI (água excluída) da produção do óxido de cobre com o da recuperação do cobre, verifica-se que o segundo é quatro vezes maior, o que significa que na recuperação do cobre são produzidos mais resíduos. Esta situação resulta de os excessos de reagentes estequiométricos, na fase de recuperação do cobre, serem superiores aos excessos utilizados na fase de produção do óxido de cobre, e se utilizarem substâncias auxiliares (ácido clorídrico) só na fase de recuperação do cobre (Tabela 6.3). Os valores do fator E e do MI do ciclo do cobre são cerca de 6 vezes maiores do que os valores para a produção de óxido de cobre e cerca de 1,4 vezes maiores do que os valores para a recuperação do cobre. Isto indica que a produção de resíduos é maior quando se pretende recuperar o cobre, pelo que a reciclagem por este processo é afinal problemática – apresenta grandes desperdícios!

No que se refere a RME/AU , é cerca de três vezes menor para a recuperação do cobre, o que significa menor incorporação de átomos de reagentes no produto, devido outra vez aos

excessos de reagentes estequiométricos, na fase de recuperação do cobre, serem superiores aos excessos utilizados na fase de produção do óxido de cobre. O valor de RME para o ciclo do cobre é cerca de 4 vezes menor do que o referente à produção de óxido de cobre e cerca de 1,4 vezes menor do que o valor para a recuperação do cobre, o que reforça a afirmação anterior. Os valores CuEE são iguais aos rendimentos.

Foi também calculado o valor teórico da AE (considera-se que não há perdas no processo e que todos os reagentes estequiométricos são transformados em produto e coprodutos), obtendo-se um valor de 20,11% na produção do óxido de cobre, 28,75% na recuperação do cobre e 11,37% no ciclo do cobre. Estes valores de AE são baixos, o que resulta da formação de coprodutos. É interessante referir que AE tem um valor superior na fase de recuperação do cobre, o que difere do comportamento de RME. Para o cálculo de AE consideram-se proporções estequiométricas e como na prática foi necessário usar elevados excessos de reagentes estequiométricos, principalmente na fase de recuperação do cobre, RME desceu mais nessa fase. Embora o rendimento obtido na fase de recuperação do cobre fosse ligeiramente superior ao obtido na produção do óxido de cobre, não foi suficiente para compensar o efeito do maior excesso de reagentes usados.

Comparação das métricas de massa e a EV

Comparando a EV com as métricas de massa surgem contradições, que resultam das métricas medirem aspetos diferentes da verdura (ou sua falta), que vale a pena discutir. Pela EV conclui-se que a recuperação do cobre é o procedimento mais verde mas os melhores valores de fator E e MI correspondem à produção do óxido de cobre, o mesmo acontecendo com o RME/AU. Isto acontece porque as métricas massa, ao contrário da EV, fornecem uma avaliação incompleta da verdura, pois não entram em linha de conta com os riscos para a saúde e para o ambiente das substâncias envolvidas e a EV não entra em linha de conta com a quantidade de resíduos produzidos.

6.3.6. Conclusões da experiência do ciclo do cobre

Um dos objetivos desta atividade proposta no 12º ano de Química é os alunos reconhecerem a importância da reciclagem do cobre e as potencialidades da reciclagem dos metais em geral, mas este tipo de reciclagem não é efetuado na Química real, pelo que os alunos devem ser alertados para a natureza académica desta atividade.

No entanto, esta atividade será interessante desde que se faça uma análise do ponto de vista da QV. Normalmente a eficiência das reações de síntese é apenas medida utilizando o rendimento e não é ensinado aos alunos a melhorarem a reação de um modo global, ou seja, a analisarem a quantidade de resíduos produzidos, a quantidade de energia gasta, etc. A utilização da EV e das métricas de massa permitirá aos alunos, por um lado, familiarizarem-se com os Doze Princípios da QV e por outro lado, refletirem no que se pode fazer para melhorar a experiência de modo a torná-la mais verde. Deste modo, os alunos terão a percepção que uma reciclagem deste tipo não seria economicamente viável, pois produz grandes quantidades de resíduos que posteriormente têm de ser tratados.

Os valores das métricas de massa para o ciclo do cobre, revelaram que a realização das experiências a microescala, não provocou qualquer aumento de vertida atômica, relativamente à macroescala [3]. Este facto resulta de as métricas de massa da QV terem como base de cálculo, a massa de produto obtido e de os rendimentos serem semelhantes a macro e microescala.

6.4. Síntese da dibenzalacetona

A dibenzalacetona (também denominada dibenzilidenoacetona ou 1,5-difenil-1,4-pentadien-3-ona) é vulgarmente usado na indústria farmacêutica (anti-inflamatórios), bem como na produção de cosméticos e de protetores solares (devido ao máximo de absorvância se situar a 330 nm). A síntese do composto é realizada nas aulas práticas de Química Orgânica da Licenciatura em Química da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

6.4.1. Reação de síntese

A reação de formação da dibenzalacetona é um exemplo de uma condensação aldólica mista (Figura 6.4).

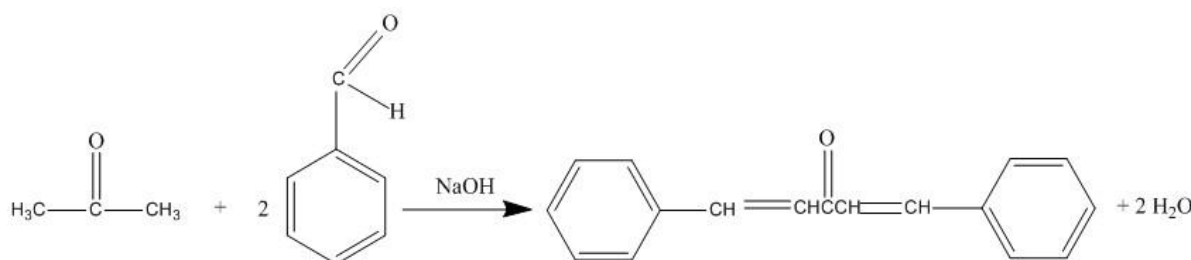


Figura 6.4. Reação global de formação da dibenzalacetona

Para que haja formação significativa de produto é necessário que um dos reagentes não condense com ele próprio, o que acontece com o benzaldeído, por não ter hidrogénios- α . O composto intermédio, formado pela primeira condensação (benzalacetona), possui ainda átomos de hidrogénio ácidos, originando facilmente uma segunda condensação. Esta reação apenas ocorre em meio alcalino, devido ao papel do ião hidróxido no mecanismo da reação (Figura 6.5). A benzalacetona facilmente reage com outra molécula de benzaldeído pelo mesmo mecanismo, formando a dibenzalacetona.

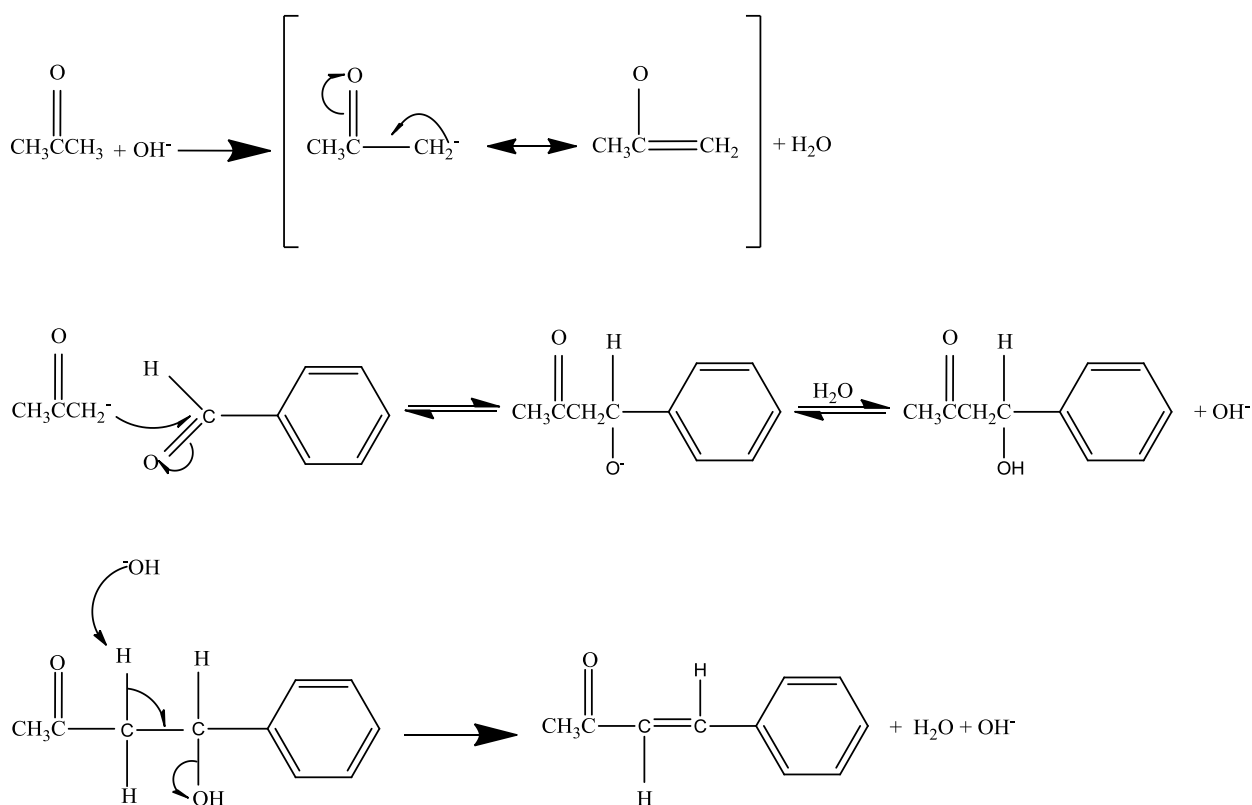


Figura 6.5. Mecanismo da reação da formação da benzalacetona

A dibenzalacetona é um sólido amarelo cristalino, praticamente insolúvel em água, pouco solúvel em etanol e solúvel em acetona e clorofórmio. Tem uma massa molar de $234,29 \text{ g mol}^{-1}$ e um ponto de fusão de $110\text{-}111 \text{ }^\circ\text{C}$ [17].

6.4.2. Objetivos

A investigação realizada sobre esta síntese teve dois objetivos:

- Avaliar a veracidade de protocolos propostos na literatura [2, 18-23] e selecionar o mais verde.
- Realizar sínteses a diversas escalas utilizando o protocolo selecionado e avaliar a veracidade, bem como o efeito da variação da escala na veracidade, utilizando para essa avaliação as métricas de massa, de energia e a EV.

Adicionalmente, realizou-se uma experiência exploratória com vista a estudar os efeitos do tempo e dos consumos de energia e água na verdura, quando se utilizam diferentes processos de filtração.

6.4.3. Trabalho Experimental

O trabalho experimental foi desenvolvido em quatro fases (diagrama da Figura 6.6), sendo apresentado a seguir em detalhe.

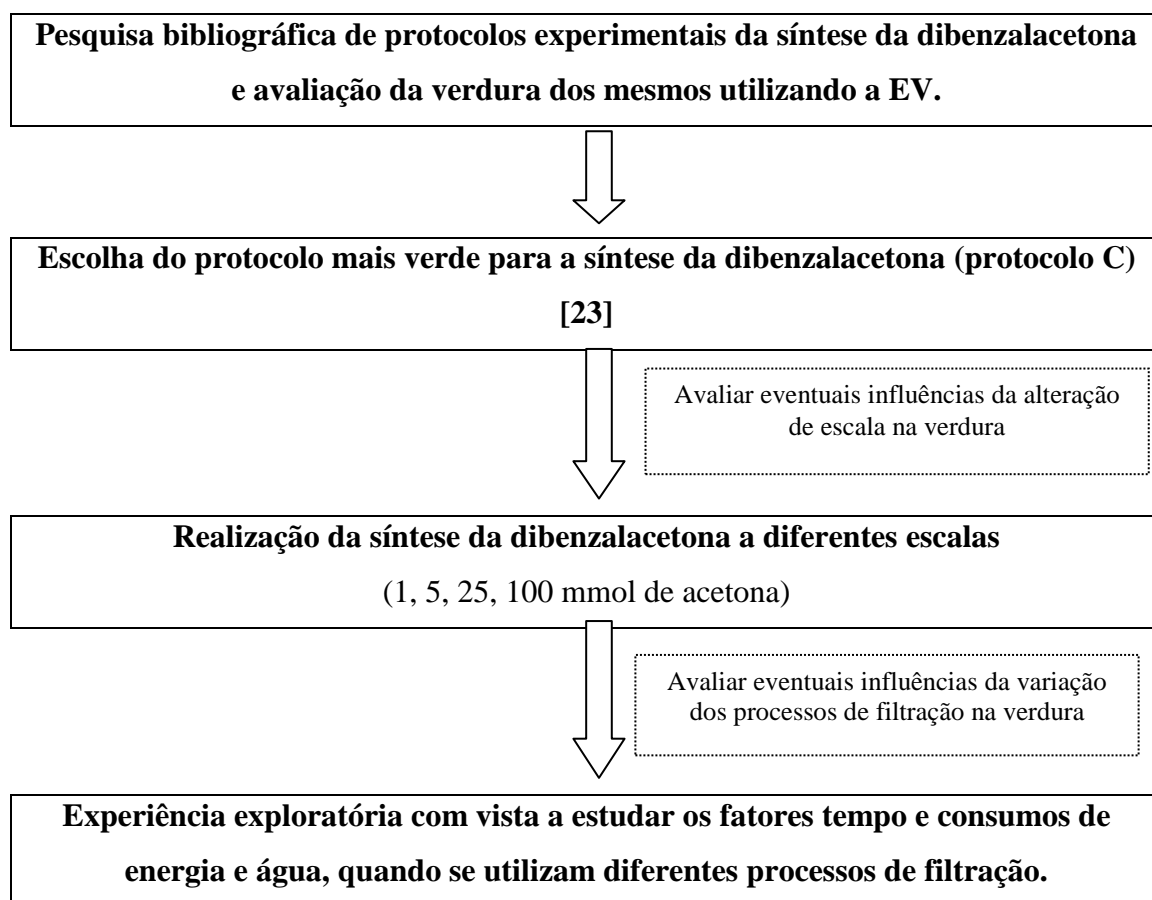


Figura 6.6. Estratégia para a reação de síntese da dibenzalacetona

6.4.3.1. Análise dos protocolos experimentais

Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica, no sentido de procurar vários protocolos adequados à experiência. Efetuou-se a pesquisa no *Journal of Chemical Education*, em livros de atividades experimentais e de sínteses em Química. Foram encontrados sete protocolos, sendo dois (A [18] e E [19]) da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, três (D [20], F [21] e G [2]) do *Journal of Chemical Education*, dois (B [22] e C [23]) e de livros de atividades experimentais (anexo VIII A-G). Os protocolos incluíam a reação de síntese e a recristalização do composto obtido, pelo que a verdura foi analisada separadamente para as duas fases.

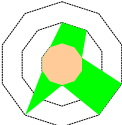
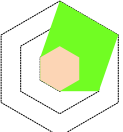
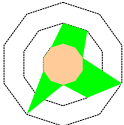
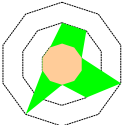
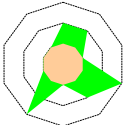
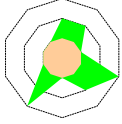
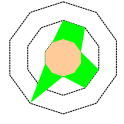
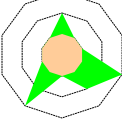
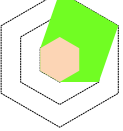
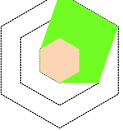
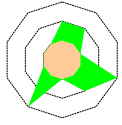
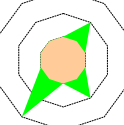
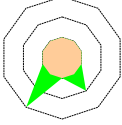
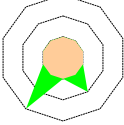
A análise de todos os protocolos permitiu identificar riscos, inflamabilidade e reatividade das substâncias envolvidas, e construir as EV para cada protocolo, apresentados na Tabela 6.3 (no anexo VIII encontram-se todos os dados necessários para a construção das EV). As EV são apresentadas por ordem decrescente da verdura, relativamente ao protocolo global (síntese seguida de recristalização), apresentando-se ainda separadamente as EV para estas duas fases. Para a fase de recristalização, que não corresponde a uma síntese, os princípios P2, P3, P8 e P9 não se aplicam, pelo que a EV só tem seis pontas.

Verifica-se que a EV global é influenciada pelas EV de cada uma das partes. A pontuação da EV global corresponde à pontuação da EV da síntese para os princípios P2, P3, P8 e P9. Para os restantes princípios a pontuação da EV global corresponde à pontuação mais baixa de cada princípio na fase da síntese ou da recristalização.

Nos sete protocolos analisados identificaram-se cinco EV diferentes para os protocolos de síntese, três para os protocolos de recristalização e cinco para o processo global.

Em seguida, apresenta-se de forma detalhada a análise da verdura dos diversos protocolos de síntese e de recristalização, sendo as EV apresentadas na Tabela 6.3.

Tabela 6.3. Comparação entre as EV obtidas para as fases de síntese, de recristalização e para o processo global nos vários protocolos

Protocolos	Fases		
	Síntese (S)	Recristalização (R)	Processo global (PG)
C	 S1 IPE=26,25	 R1 IPE=33,33	 PG1 IPE=21,25
F	 S2 IPE=21,25	 R1 IPE=33,33	 PG1 IPE=21,25
B	 S2 IPE=21,25	 R2 IPE=16,67	 PG2 IPE=17,50
D	 S3 IPE=17,50	 R1 IPE=33,33	 PG3 IPE=17,50
G	 S4 IPE=22,50	 R1 IPE=33,33	 PG3 IPE=17,50
A	 S2 IPE=21,25	 R3 IPE=4,17	 PG4 IPE=10,00
E	 S5 IPE=7,50	 R3 IPE=4,17	 PG5 IPE=7,50

Sínteses

Em relação aos protocolos de síntese, as EV S1 têm pontuação máxima para os princípios P5, P6 e P8, porque os solventes utilizados não têm indicação de riscos para a saúde e ambiente (P5), a experiência é realizada à temperatura e pressão ambientais (P6) e na síntese não há derivatizações (P8). A pontuação é reduzida a 2 para os princípios P1 e P2, porque os resíduos contêm hidróxido de sódio em solução aquosa de baixa concentração (Xi) o que envolve risco moderado para a saúde (P1), há um excesso de reagentes menor que 10% e são formados coprodutos (P2). Para os outros princípios, a pontuação é reduzida a 1 porque é utilizado o hidróxido de sódio (C) como catalisador (P9), o que implica também que sejam utilizados reagentes com riscos elevados para a saúde (P3) e de acidente (P12) e não são utilizadas substâncias renováveis (P7) nem degradáveis, com produtos de degradação inócuos (P10). A EV S4 apresenta uma área verde menor, pois a pontuação do princípio P2 é reduzida a 1, uma vez que é utilizado um excesso de reagentes superior a 10%. A EV S2 têm uma área verde menor que a de S1 pois a pontuação do princípio P6 é reduzida a 2, uma vez que as experiências não são realizadas à temperatura ambiente. A EV S3, relativamente à S1 apresenta uma área verde menor, porque a pontuação para o princípio P2 é reduzida a 1 (é utilizado um excesso de reagentes superior a 10%) e para o princípio P6 é reduzida a 2 (a experiência não é realizada à temperatura ambiente). A EV S5 tem uma área verde muito reduzida em relação à S1, porque a pontuação para os princípios P1, P2 e P5 é reduzida a 1 (os resíduos apresentam riscos elevados para a saúde – metanol (T), é utilizado um excesso de reagentes superior a 10% e os solventes apresentam riscos elevados para a saúde – metanol (T), respetivamente e a pontuação do princípio P6 é reduzida a 2 (a experiência não é realizada à temperatura ambiente).

Recristalização

No que concerne os protocolos de recristalização, a EV R1 apresenta uma maior área verde porque tem pontuação máxima para os princípios P1 e P5, uma vez que os resíduos formados e os solventes utilizados não apresentam indicação de riscos para a saúde e ambiente, respetivamente. Em relação ao princípio P6, a pontuação é reduzida a 2, uma vez que as experiências não são realizadas à temperatura ambiente. Para os outros princípios, a pontuação é reduzida a 1 porque não são utilizadas substâncias renováveis (P7), nem degradáveis com produtos de degradação inócuos (P10) e são utilizadas substâncias que envolvem riscos elevados de acidente – etanol (F) (P12). A EV R2 apresenta uma área verde

menor que a de R,1 porque a pontuação para os princípios P1 e P5 é reduzida a 2, pois o resíduo formado e o solvente utilizado envolvem riscos para a saúde – acetato de etilo (Xi). A EV R3 em relação à R1 tem uma área verde muito reduzida porque a pontuação para os princípios P1 e P5 é reduzida a 1, pois o resíduo formado e o solvente utilizado apresentam riscos elevados para a saúde – metanol (T).

Protocolo Global

O protocolo C combina o protocolo mais verde da síntese (EV S1) e de recristalização (EVR1), embora este último seja comum a outros protocolos (D, F e G) como se apresenta na Tabela 6.3. Na Figura 6.7 apresentam-se as respectivas EV detalhadas.

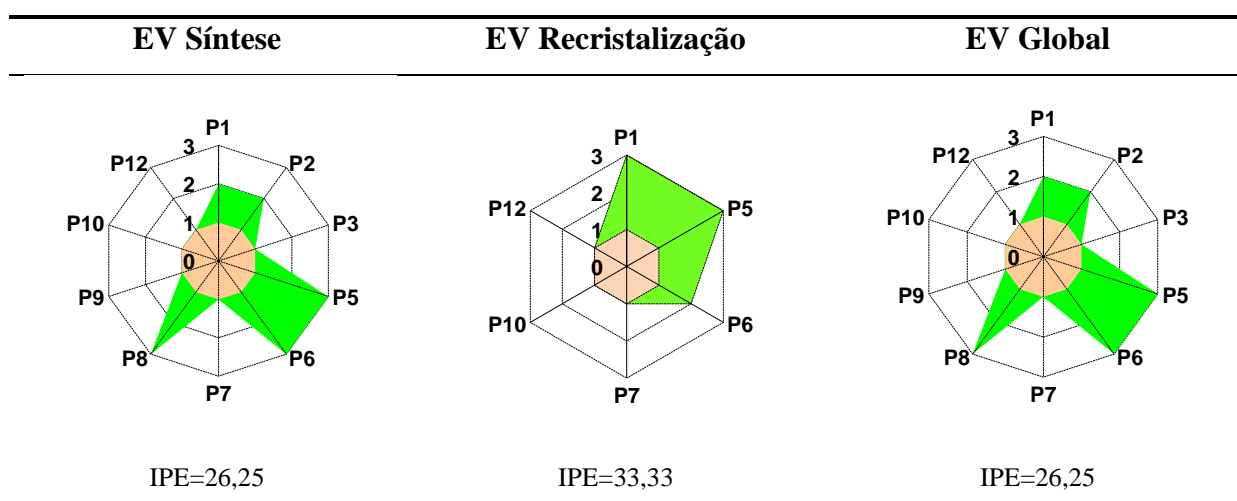


Figura 6.7. EV do protocolo C

Escolha do protocolo para as experiências

Nas sínteses realizadas optou-se por utilizar o protocolo S1 por ser o mais verde. Não se realizou a recristalização, por não se considerar necessário para o objetivo pretendido. Um protocolo (D) indica a recristalização como opcional.

Experiências

Tendo por base o protocolo S1 foi realizada a síntese da dibenzalacetona a diferentes escalas, aumentando ou diminuindo proporcionalmente as quantidades de todos os reagentes.

Por último, foi realizado um estudo exploratório com vista a estudar os fatores tempo e consumo de energia e água, quando se utilizam diferentes processos de filtração. Os processos

de filtração foram: bomba a vácuo (utilizaram-se duas bombas de potências diferentes), trompa de água e filtração por gravidade.

6.4.3.2. Síntese da dibenzalacetona

A síntese envolve um conjunto de reagentes e operações, como se apresenta na Figura 6.8. Como já se referiu, o procedimento seguiu protocolo S1 [23].

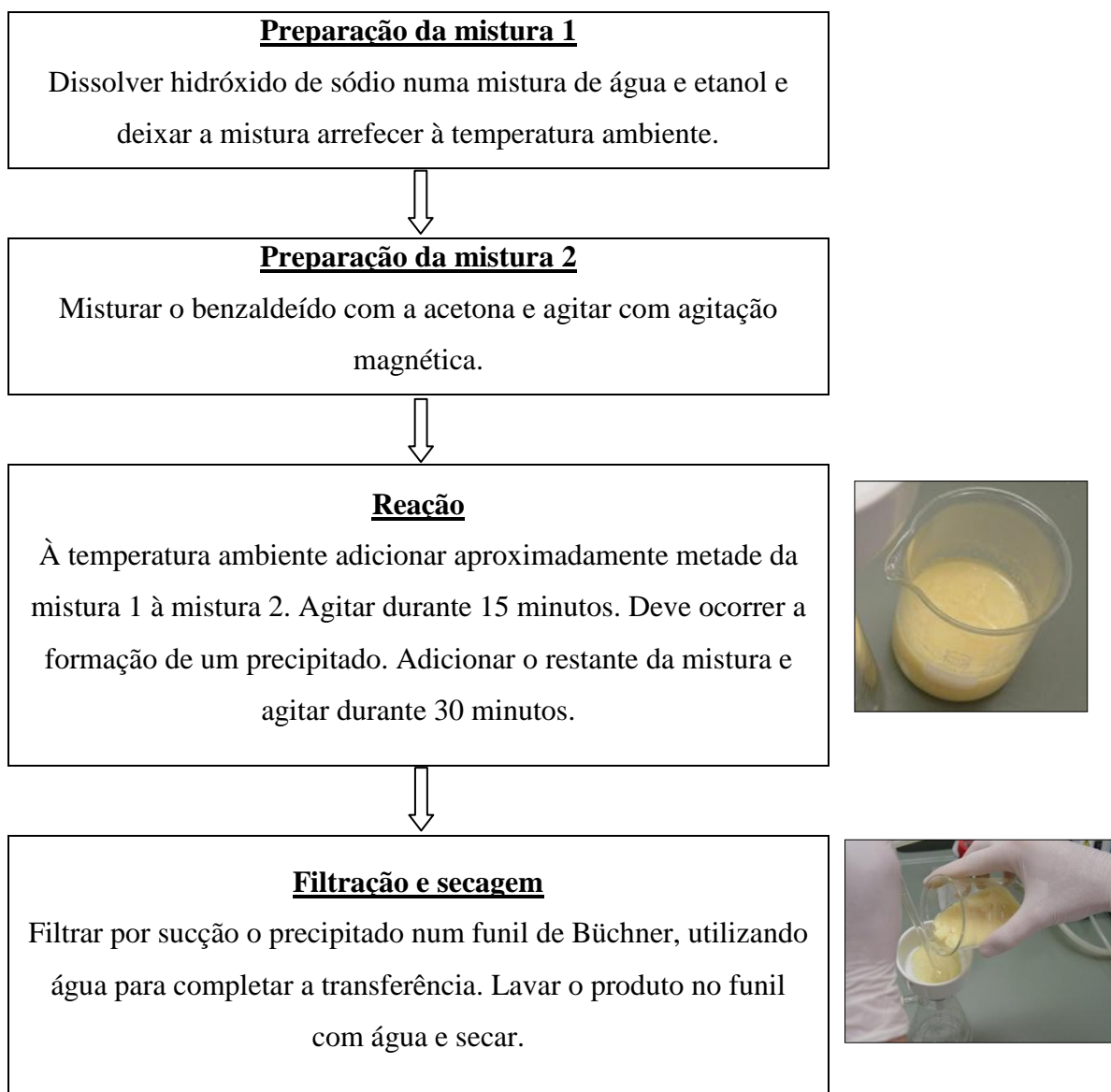


Figura 6.8. Diagrama para a síntese da dibenzalacetona

Em seguida, apresenta-se em detalhe o protocolo para uma escala de 25 mmol de acetona.

Preparação da mistura 1. Num gobelé de 150 mL, dissolveu-se 5 g de hidróxido de sódio (125 mmol) numa mistura de 50 mL de água e 40 mL de etanol e colocou-se uma barra

magnética. Agitou-se a mistura até à dissolução completa e deixou-se arrefecer até à temperatura ambiente.

Preparação da mistura 2. Num gobelé de 50 mL misturou-se 5,10 mL (50 mmol, 0,40% de excesso) de benzaldeído com 1,84 mL (24,89 mmol) de acetona . A mistura foi facilitada por agitação magnética.

Reação. Adicionou-se aproximadamente metade da mistura de acetona e benzaldeído à solução de hidróxido de sódio e agitou-se durante 15 minutos. Formou-se um precipitado amarelo. Adicionou-se o restante da mistura, usando pequenas porções de etanol para completar a transferência. Agitou-se durante 30 minutos.

Filtração. O precipitado obtido foi filtrado por sucção num funil de Büchner, usando cerca de 50 mL de água destilada para completar a transferência. Lavou-se o produto no funil com três lavagens de 100 mL de água destilada.

Secagem. O sólido foi deixado a secar durante uma semana em exsiccador, sobre sulfato de cálcio anidro, e pesou-se até que a variação de massa entre pesagens foi menor do que 1%.

Em todos os processos (exceto na secagem) foi medido o tempo de cada processo e a energia consumida na utilização dos diversos equipamentos (placa de agitação e bomba de vácuo). Para medir a energia utilizou-se um analisador de potência, de bancada, Peaktech 2510.

6.4.3.3. Síntese da dibenzalacetona a diferentes escalas

As experiências foram realizadas inicialmente, seguindo o protocolo S1 publicado (escala 25 mmol de acetona e sem recristalização – indicada como opcional). Em seguida, foram realizadas novas experiências aumentando a escala quatro vezes (100 mmol de acetona) e diminuindo depois vinte e cinco (1 mmol de acetona) e cinco vezes (5 mmol de acetona). As quantidades dos reagentes estequiométricos, substâncias auxiliares e água foram aumentadas ou diminuídas de forma a garantir as mesmas proporções em todas as experiências. No caso das sínteses a microescala (1 e 5 mmol de acetona), foi necessário utilizar um volume de etanol superior à proporção, por dificuldades de transferência da mistura de acetona e benzaldeído para o copo de reação (em vez de 0,04 e 0,2 mL utilizaram-se 0,5 e 1 mL, respetivamente). Na Tabela 6.4 apresentam-se as massas/volumes de reagentes utilizados em cada escala. Foram determinados os ponto de fusão de três amostras, de cada uma das escalas.

Tabela 6.4. Proporções de reagentes utilizadas

Escala (mmol de acetona)	1	5	25	100
V acetona / mL	0,074	0,368	1,840	7,36
V benzaldeído / mL	0,205	1,020	5,100	20,40
m auxiliares / g	0,209	1,067	5,079	20,034
V etanol transferência da mistura 2 / mL	0,500	1,000	1,000	4,00
V etanol da mistura 1 / mL	1,600	8,00	40,0	160,0
V etanol total / mL	2,100	9,00	41,0	162,0
V água / mL	16,0	80,0	400,0	1600,0
V total solventes / mL	18,1	89,0	441,0	1762,0

6.4.4 Resultados experimentais

A partir dos dados sobre as experiências foram calculadas métricas quantitativas de massa, que se apresentam em conjunto com a EV na Tabela 6.5.

Tabela 6.5. Métricas de massa para a fase de síntese da dibenzalacetona*

EV Métricas	Escala (mmol de acetona)			
	1 (N=5)	5 (N=7)	25 (N=6)	100 (N=3)
EV				
IPE	IPE=26,25%			
Rendimento (%)	47,4±4,2	67,6±3,9	74,5±2,5	85,5±3,7
Factor E (sem H ₂ O e sem etanol)	3,3±0,3	2,1±0,2	1,7±0,1	1,4±0,1
Factor E (com H ₂ O e sem etanol)	147,9±13,2	103,5±6,3	93,9±3,3	81,5±3,6
Factor E (com H ₂ O e com etanol)	162,9±14,5	112,5±6,8	101,3±3,5	88,0±3,9
Intensidade de massa (MI) (sem H ₂ O e sem etanol)	4,3±0,3	3,1±0,2	2,7±0,1	2,4±0,1
Intensidade de massa (MI) (com H ₂ O e sem etanol)	148,9±13,2	104,5±6,3	94,9±3,3	82,5±3,6
Intensidade de massa (MI) (com H ₂ O e com etanol)	163,9±14,5	113,5±6,8	102,3±3,5	89,0±3,9
Economia atômica percentual (AE) (%)	86,67	86,67	86,67	86,67
Eficiência de massa percentual (RME) (%) = Utilização atômica percentual (AU) (%)	41,1±3,7	58,6±3,7	64,4±2,2	74,0±3,2
Eficiência elemental percentual (CEE) (%)	47,4±4,3	67,6±3,9	74,3±2,5	85,4±3,6

* O etanol é o único solvente para além da água e o hidróxido de sódio é a única substância auxiliar. N é o número de experiências.

Na Tabela 6.6. apresentam-se os valores médios dos tempos de agitação, tempos de reação, tempos de filtração, e os valores médios das energias consumidas na agitação, reação e filtração.

Tabela 6.6. Tempo de reação e energia consumida*

Escala (mmol de acetona)	1 (N=3)			5 (N=3)			25 (N=3)			100 (N=3)		
	$\Delta t / \text{min}$	E/ Wh	E/ Wh/g	$\Delta t / \text{min}$	E/ Wh	E/ Wh/g	$\Delta t / \text{min}$	E/ Wh	E/ Wh/g	$\Delta t / \text{min}$	E/ Wh	E/ Wh/g
Agitação da mistura 1	1,00±0,00	0,25±0,01	2,3±0,3	1,1±0,1	0,29±0,06	0,4±0,1	1,8±0,3	0,53±0,03	0,12±0,01	3,00±0,00	0,82±0,08	0,04±0,01
Agitação da mistura 2	3,4±0,7	0,9±0,2	8,6±1,9	1,3±0,2	0,4±0,1	0,6±0,2	2,4±0,1	0,80±0,05	0,18±0,01	3,1±0,1	0,84±0,06	0,04±0,01
Reacção	45,00±0,00	11,0±0,5	100,8±8,8	45,1±0,1	11,5±1,1	15,3±2,4	45,4±0,7	14,6±0,3	3,27±0,07	45,6±0,6	12,9±0,5	0,64±0,01
Filtração	4,2±1,2	2,5±0,7	22,6±5,8	6,6±0,5	4,0±0,2	5,2±0,1	7,5±4,1	4,9±1,8	1,1±0,4	21,6±9,2	11,6±4,8	0,6±0,3
Total	53,7±1,8	14,6±1,3	134,2±13,0	54,0±0,4	16,1±1,1	21,4±2,7	57,1±4,8	20,8±1,6	4,7±0,4	73,3±9,2	26,2±4,4	1,3±0,3

* Energia expressa em Wh e Wh/grama de produto

Na Tabela 6.7. apresentam-se os valores médios do ponto de fusão da dibenzalacetona.

Tabela 6.7. Ponto de fusão da dibenzalacetona*

Escala (mmol de acetona)	1	5	25	100
Ponto de fusão / °C	107,8±0,2	108,0±0,5	108,7±0,9	106,3±0,9

* 9 ensaios para cada escala

6.4.5 Discussão dos resultados

Métricas de Massa

A partir resultados da Tabela 6.5 pode concluir-se que o rendimento aumenta à medida que aumenta a escala (mmol de acetona), o que se representa graficamente na Figura 6.9. Estes resultados parecem indicar que para pequenas escalas as perdas de massa durante a execução laboratorial têm uma maior influência no valor do rendimento, como é natural,

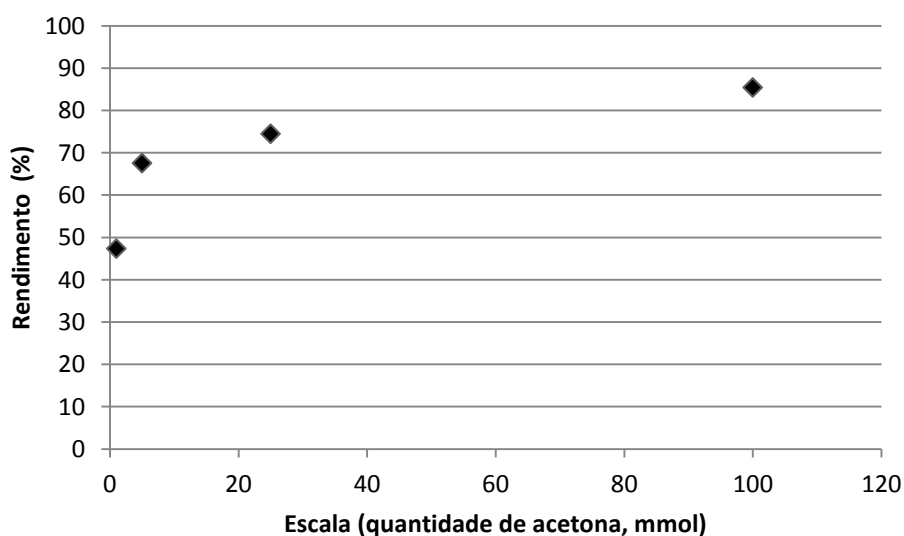


Figura 6.9. Variação do rendimento com a escala

A partir dos dados da Tabela 6.5 representam-se na Figura 6.10 os valores de RME e CEE em função do rendimento, verificando-se que os valores são diretamente proporcionais ao rendimento. Para explicar estes comportamentos, utilizam-se as fórmulas 12 e 13 (Tabela 6.1). Substituindo na fórmula 12 os valores de a , b , p , MWA , MWB , MWP , mB e $m'B$, obtém-se a expressão $RME=0,864.\eta$, sendo a constante de proporcionalidade próxima do valor encontrado graficamente (0,866 - Figura 6.10). Substituindo na fórmula 13 os valores de a , b , p , n_{xA} , n_{xB} , n_{xP} , n_B e n'_B obtém-se a expressão $CEE=0,997.\eta$, sendo a constante de proporcionalidade também próxima do valor encontrado graficamente (0,999, Figura 6.10). Os resultados mostram que os valores experimentais são concordantes com os valores previstos teoricamente.

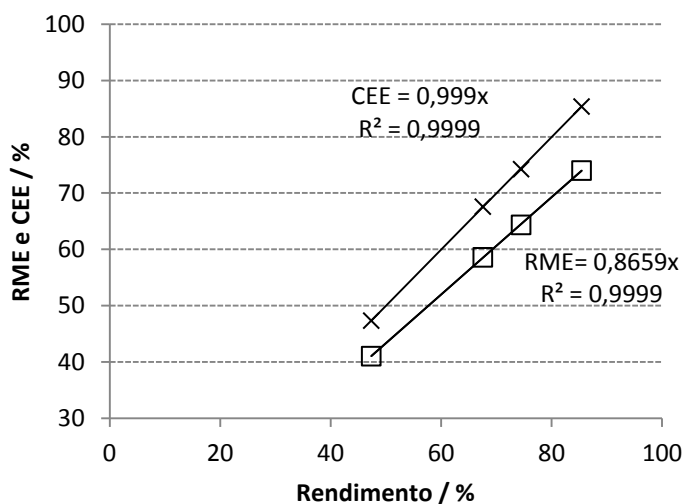


Figura 6.10. Variação das métricas em função do rendimento; □ RME e X CEE.

Seguiu-se a mesma metodologia para o fator E e MI (a água e o etanol foram incluídos no cálculo das métricas) que se representam em função do rendimento no gráfico da Figura 6.11. Verifica-se que os valores do fator E e MI diminuem quando o rendimento aumenta.

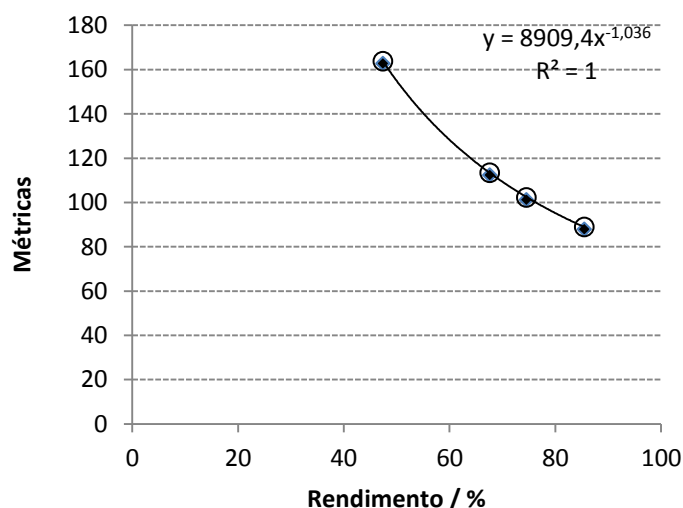


Figura 6.11. Variação do Fator E e MI (água e etanol incluídos) em função do rendimento;
 ♦ Fator E, ○ MI.

Para explicar estes comportamentos para o MI (Fator E=MI-1), utiliza-se a fórmula 11 (Tabela 6.1). Substituindo na fórmula 11, os valores de a , b , p , MW_A , MW_B , MW_P , m_B , m'_B , m_{aux} e m_s , obtém-se a expressão $MI=7660/\eta$, tendo k um valor médio de 7660 ± 56 . Este elevado valor de desvio padrão resulta de não ter sido possível manter as mesmas proporções de etanol para as experiências às escalas de 1 e 5 mmol de acetona, por dificuldades de transferência do produto a microescala. Se não se contabilizar o etanol, mas só a água, no cálculo de MI, o valor médio de k é de 7053 ± 18 . O valor determinado através do Excel não considera a potência de (-1) para o rendimento, daí ser difícil obter a valor de k a partir desse gráfico. Por essa razão, as expressões $MI=7660/\eta$, e $MI=7053/\eta$ são representadas graficamente na Figura 6.12(A) e (B), respetivamente, juntamente com os valores experimentais. Verifica-se que na Fig. 6.12(B) a curva ajusta-se aos valores experimentais, um claro melhoramento relativamente à Fig. 6.12(A), pois o etanol não foi incluído no cálculo de MI. Considerando os valores de MI sem contabilizar os solventes (água e etanol) o valor médio de k é de $204,1 \pm 2,5$. Representa-se na Fig 6.12(C) a expressão $MI=204,1/\eta$ que mostra também um bom ajustamento da curva.

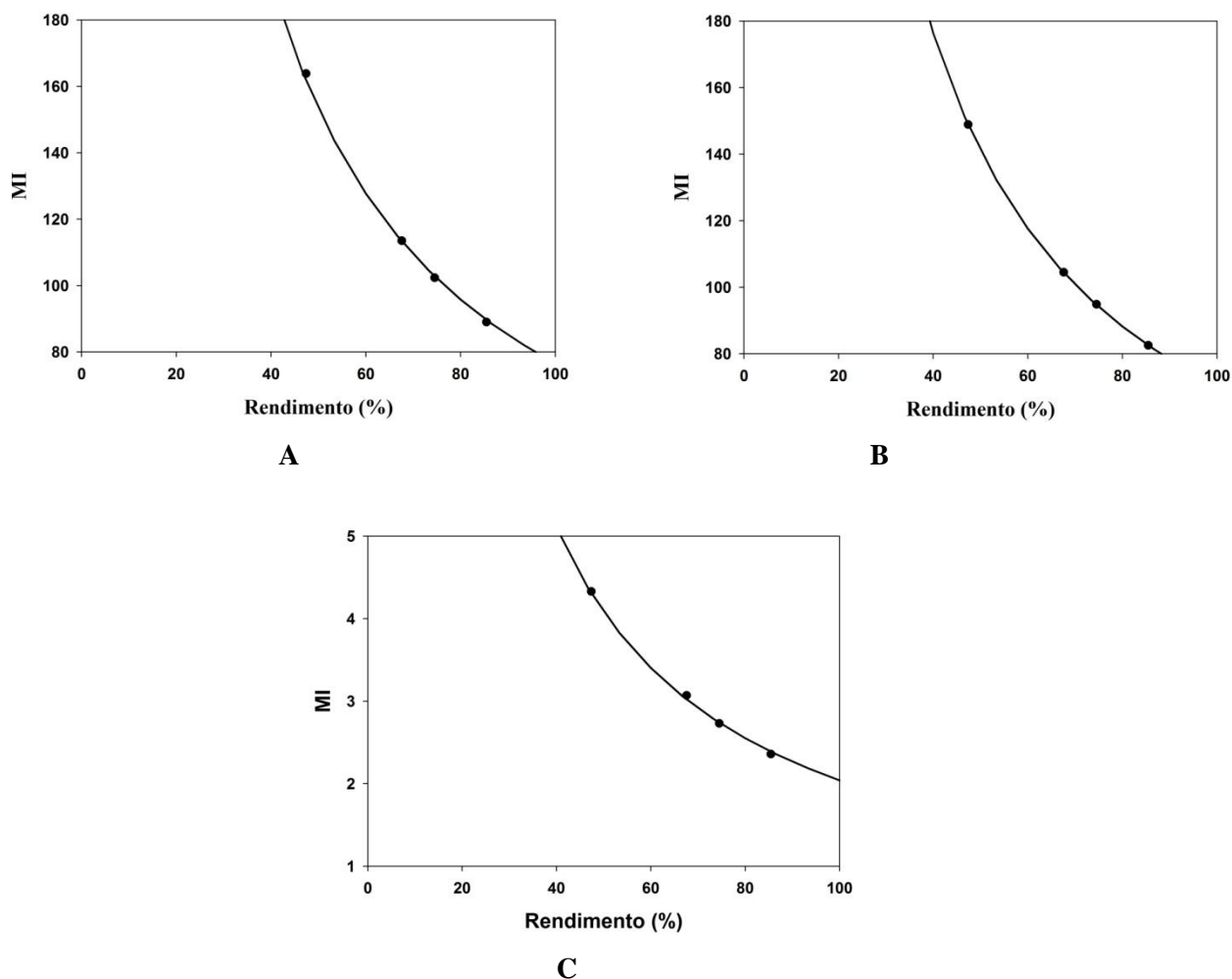


Figura 6.12. Representação gráfica de $MI=7660/\eta$ (A - água e etanol incluídos), $MI=7053/\eta$ (B - água incluída e etanol não incluído) e $MI=204,1/\eta$ (C - água e etanol não incluídos) e dos valores experimentais.

Para cada escala foi calculada a variação cumulativa das métricas, por

$$\text{Variação cumulativa} = \frac{100 \times (x_i - x_1)}{x_1}$$

sendo x_i o valor da métrica numa determinada escala e x_1 o valor da métrica para a escala de 1 mmol de acetona. Na Figura 6.13 representa-se esse crescimento em função do rendimento.

A taxa de crescimento dos valores das métricas RME e CEE é superior à taxa de redução das métricas fator E e MI (consideraram-se os valores de fator E e MI incluindo água e solventes) devido à variação destas métricas com o rendimento ($MI=k/\eta$), como se pode observar nas expressões e figuras anteriores.

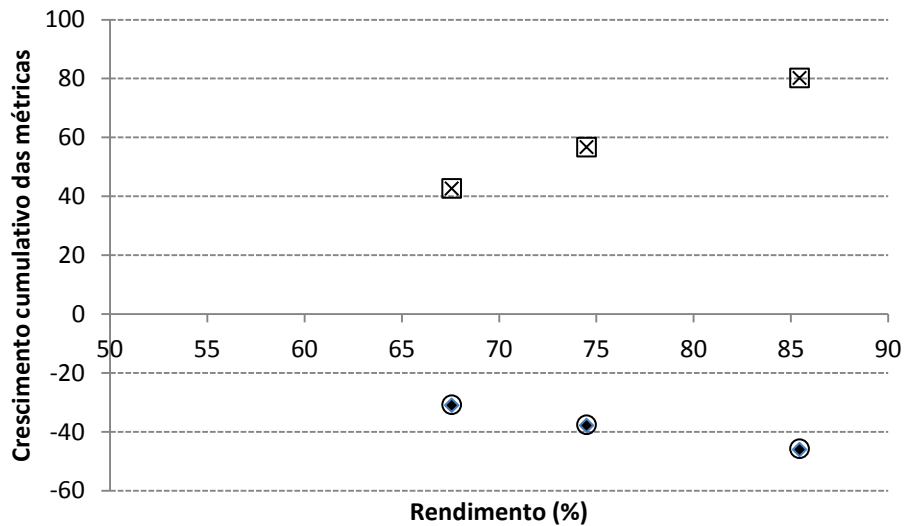


Figura 6.13. Variação das métricas em função do rendimento; ◆ Fator E; ○ MI; □ RME e X CEE.

É de referir que a inclusão da água no cálculo das métricas faz aumentar muito os valores do fator E e de MI, relativamente aos valores calculados quando esta é excluída (Tabela 6.5).

Métrica energética

A partir dos resultados da Tabela 6.6 construiu-se o gráfico da Figura 6.14, que mostra que à medida que a escala aumenta, a energia total do processo aumenta. Isto deve-se ao facto de, escalas mais reduzidas o tempo de filtração ser menor, logo a energia total (soma das duas energias) é menor a microescala. Por outro lado, a energia por grama de produto diminui à medida que a escala aumenta, porque o aumento da massa de produto é superior ao aumento da energia, quando a escala aumenta.

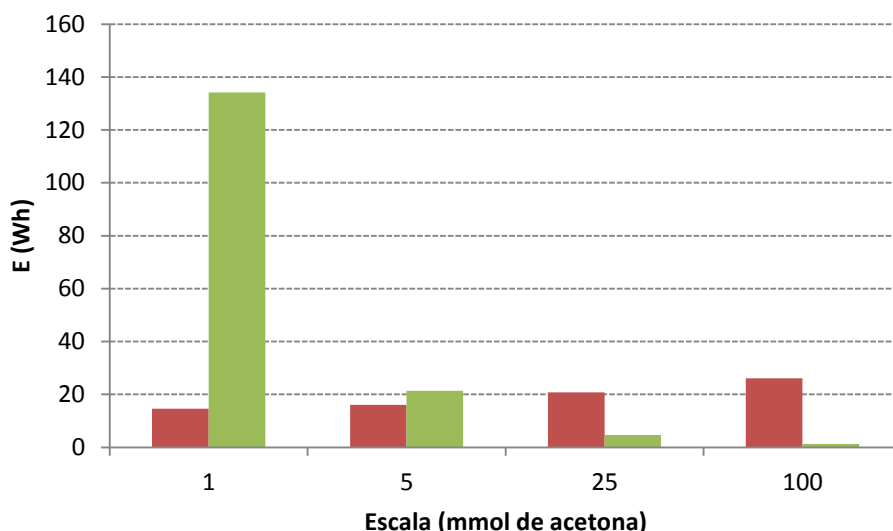


Figura 6.14. Energia consumida em função da escala: ■ Energia total, ■ Energia por grama de produto.

6.4.6 Experiência exploratória

Atendendo a que os resultados indicaram que o tempo de filtração aumentava com a escala (Tabela 6.7) surgiu a ideia de comparar diferentes processos de filtração medindo a energia e o tempo consumidos para cada um deles. Para isso, realizaram-se quatro sínteses à escala de 5 mmol de acetona utilizando-se um processo de filtração diferente para cada uma delas: duas bombas de vácuo (35W e 300W), trompa de água e filtração por gravidade. Na Tabela 6.8 apresentam-se os resultados, bem como os valores dos rendimentos obtidos.

Tabela 6.8. Tempo, energia e volume de água gasto nos vários processos de filtração*

Processo 1			Processo 2			Processo 3			Processo 4		
Bomba de 35W p=1bar			Bomba de 300W p=4bar			Trompa de água			Filtração por gravidade		
$\eta = 67,55 \%$			$\eta = 64,22 \%$			$\eta = 66,36 \%$			$\eta = 63,20 \%$		
$\Delta t/ \text{min}$	E/ Wh	E/ Wh/g	$\Delta t/ \text{min}$	E/ Wh	E/ Wh/g*	$\Delta t/ \text{min}$	V água /L	V água/ L/g	$\Delta t/ \text{min}$	E/ Wh	E/ Wh/g
7,44	4,45	5,63	4,23	21,15	28,13	20,00	5	6,44	45,00	0	0

*Energia expressa em Wh e Wh/grama de produto

Quando se utilizou a bomba de 35W, a energia foi medida utilizando um analisador de potência de bancada, Peaktech 2510; para o caso da bomba de 300W, isso não foi possível devido ao modo como a bomba de vácuo estava instalada no laboratório, sendo a energia calculada multiplicando o tempo pela potência da bomba. Com base nestes resultados

construíram-se os gráficos da Figura 6.15 e 6.16, que apresentam o tempo de filtração para cada processo e a energia consumida em função do tempo de filtração, respectivamente.

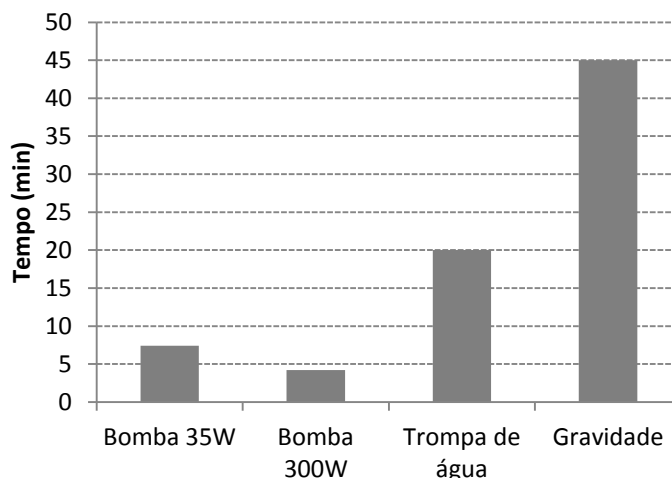


Figura 6.15. Tempo de filtração para cada processo usado.

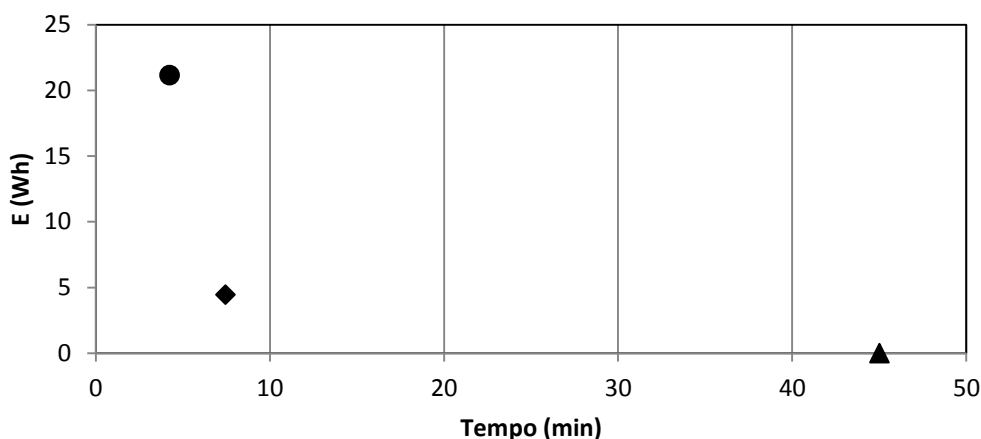


Figura 6.16. Energia consumida em função do tempo de filtração; ● Bomba 300W, ◆ Bomba 35W, ▲ Filtração por gravidade.

A partir dos resultados pode concluir-se que o processo que demora menos tempo, o que utiliza a bomba de maior potência, consome mais energia (Figuras 6.15 e 6.16). A filtração utilizando uma trompa de água, não consome energia elétrica, mas consome uma grande quantidade de água (cerca de 6,5 L de água por grama de produto, ver Tabela 6.8). A filtração por gravidade, embora seja o processo mais verde do ponto de vista energético, demora mais tempo (cerca de 45 minutos, Figuras 6.15 e 6.16), o que pode dificultar a sua utilização em sala de aula, pois iria demorar grande parte do tempo de aula disponível (135 minutos).

6.4.7 Conclusões das sínteses da dibenzalacetona

No que se refere à avaliação da verduca de protocolos propostos na literatura, verificou-se grande diversidade de propostas. Foram identificados dez protocolos diferentes na combinação síntese/recristalização, envolvendo sete protocolos de síntese e cinco de recristalização. A avaliação da verduca, pela EV, mostrou uma variação no IPE entre 7,50 e 26,25 para a fase de síntese e entre 8,33 e 41,67 para a fase de recristalização, resultando numa variação entre 7,5 e 26, 25 para o processo global. A fase de recristalização nunca implicou um aumento de verduca para o processo global, mas contribuiu, em muitos casos, para a sua diminuição, principalmente devido aos riscos que os solventes usados envolvem. Estes resultados permitem concluir que a avaliação da verduca dos protocolos disponíveis na literatura deve ser uma fase importante na tomada de decisão do professor, ou autores de programas e manuais, sobre o protocolo a propor.

No que se refere à avaliação do efeito da variação da escala na verduca do protocolo, para a realização experimental, através de métricas de massa e de energia, as principais conclusões foram:

- O rendimento aumenta à medida que aumenta a escala, devido a maior perda de massa relativa para pequenas escalas, durante a execução laboratorial.

- Os valores de RME e CEE são diretamente proporcionais ao rendimento e os valores do fator E e de MI inversamente, o que implica que a taxa de crescimento dos valores de RME e CEE seja superior à taxa de redução dos valores do fator E e de MI.

- A energia total do processo aumenta com a escala, mas a energia por grama de produto diminui, à medida que a escala aumenta, porque o aumento da massa de produto é superior ao aumento da energia, quando a escala aumenta.

- A escolha do processo de filtração a usar não é indiferente e implica opções entre tempo de realização, consumo energético e consumo de água. Se o tempo de realização é o fator determinante para a escolha, a utilização de uma bomba de vácuo ou de trompa de água serão as opções possíveis. No caso de haver um sistema de reutilização da água, o último poderia ser o sistema mais económico. No caso de não existir, é necessário optar-se entre o consumo de água e de energia. Verificou-se que a utilização de pequenas bombas de vácuo, de baixa potência, parece resultar em economia energética quando comparada com a utilização de bombas de potência elevada, montadas centralmente no laboratório.

Esta atividade permitiu ganhar sensibilidade acerca da forma como a escala influencia as diversas métricas de massa. Também neste caso, se confirma que a EV não é sensível à

mudança de escala porque as substâncias envolvidas são as mesmas, assim como os protocolos [3].

6.5 Conclusões finais

No ciclo do cobre verificou-se que a otimização das reações tem efeito nas métricas de massa da QV, no sentido do aumento da verdura. Neste caso, a otimização permitiu tornar o processo mais verde, pela redução da quantidade de resíduos. A realização desta atividade no Ensino, seguindo a estratégia do presente trabalho, permite aos alunos sentir que a Química Verde tem de ser presentemente um processo dinâmico, em que se procura melhorar os processos para obter mais verdura por interações sucessivas.

Na síntese da dibenzalacetona, verificou-se um aumento da verdura com a escala, que resultou de o rendimento ter aumentado com a escala. Embora a realização a microescala, não seja o processo mais verde, tem a vantagem genérica de permitir a utilização de uma maior variedade de substâncias químicas já que, sendo a escala diminuída, podem usar-se materiais dispendiosos ou reagentes/produtos mais problemáticos (quanto a efeitos nocivos), que não seriam seguros em macroescala. Estes aspetos não são captados pelas métricas da QV, porque as vantagens da microescala são exercidas no âmbito do “paradigma do risco” (diminuição da exposição resultante da diminuição de quantidades), ao passo que a QV é desenvolvida no “paradigma ecológico” – diminui proactivamente o risco, por diminuição da perigosidade (risco = perigosidade x exposição).

A utilização da microescala é aconselhada nos laboratórios de Ensino, com base numa perspetiva de prevenção da poluição, uma vez que reduz significativamente a quantidade de reagentes usados e de resíduos produzidos; além disso, há redução dos custos experimentais, redução do tempo de exposição aos materiais potencialmente tóxicos e menores tempos de reação [24,25].

A realização das sínteses em sala de aula deve seguir uma metodologia que permita aos alunos pensarem e aplicarem os princípios da QV em situações reais, avaliando a verdura dos protocolos propostos e de possíveis alterações introduzidas, e encontrarem confirmação experimental, através do cálculo de métricas da QV.

6.6. Bibliografia

1. Szafran Zvi, Pike Ronald M, Foster Judith C.; *Microscale General Chemistry Laboratory*, John Wiley & Sons, Inc; 1993
2. B.L. Hawbecker, D. W. Kurtz, T. D. Putman, P. A. Ahlers e G. D. Gerber, *The Aldol Condensation: A Simple Teaching Model for Organic Laboratory*, *J. Chem. Ed* **55** (1978) 540-541
3. Ribeiro, M. G. T. C., Costa, Machado, D. A., A. A. S. C., *Uma Métrica Gráfica para Avaliação Holística da Verdura de Reacções Laboratoriais - Estrela Verde*, *Química Nova* **33** (2010) 759-764.
4. A. S. C. Machado, *Métricas da Química Verde – A Produtividade Atómica*, *Química - Boletim SPQ* **107** (2007) 47-55.
5. Frosch, R. A.; *Industrial Environmental Performance Metrics – Challenges and Opportunities*, National Academy Press: Washington, 1999.
6. Allen, D. T.; Shonnard, D. R.; *Green Engineering – Environmentally Conscious Design of Chemical Processes*, Prentice-Hall: Upper Saddle River, 2002.
7. Van Aken, K.; Streckowski, L.; Patiny, L.; *Beilstein J. Org. Chem.* **2006**, 2, 1.
8. DGIDC Web: http://sitio.dgicd.min-edu.pt/secundario/paginas/programas_es_f.aspx (Direcção Geral de Inovação e Desenvolvimento Curricular, acedido em Junho 2011).
9. Simões, T. S., Queirós, M. A., Simões, M. O., *Química em contexto*, Porto Editora, 2009
10. Web: http://www.procobre.org/pr/sobre_o_cobre/principais_usos.html# (acedido em Junho de 2011)
11. *Enciclopédia Luso Brasileira de Cultura*, Volume 5, Verbo 5ª Edição, 1993
12. Web:<http://nautilus.fis.uc.pt/st2.5/scenes-p/elem/e02900.html>, (acedido em Junho de 2011)
13. Web:<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/SumarioMineral2008/cobre.pdf> (acedido em Junho de 2011)
14. Dantas, M.C., Ramalho M.D., *Jogo de partículas*, Texto Editores, 2005
15. Web:http://www.procobre.org/pr/noticias/2009/0209_01.html (acedido em Junho de 2011)
16. Web:http://www.planet-metals.com/copper_recycling/ (acedido em Junho de 2011)
17. Web:<http://tmi.cambridgesoft.com/themerckindex/Forms/Search/ContentArea/ChemBioVizSearch.aspx?FormGroupId=200000&AppName=THEMERCKINDEX&AllowF>

ullSearch=true&KeepRecordCountSynchronized=false&SearchCriteriaId=5&SearchCriteriaValue=538-58-9&CurrentIndex=0 (acedido em Julho 2011)

18. Condensação aldólica: Preparação da dibenzilidenoacetona, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (2003)
19. Condensação aldólica: Preparação da dibenzilidenoacetona, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (1998)
20. B. A. Hathaway, Na Aldol Condensation Experiment using a number of aldehydes and ketones, *J. Chem. Educ* **64** (1987) 367.
21. L. A. Hull, The dibenzalacetona reaction revisited, *J. Chem. Educ* **78** (2001) 226-227
22. A. I. Vogel, *Elementary Practical Organic Chemistry*, Green and Co(1958)
23. K. L. Williamson, , R. D. Minard, K. M. Masters, *Macroscale and Microscale Organic Experiments*, Houghton Mifflin Company, Boston, 2007.
24. Singh, M. M; Szafran, Z; Pike, R. M.; *J. Chem. Educ* **76** (1999) 1684.
25. Szafran, Z.; Singh, M. M; Pike, R. M.; *Educación Química* (2000) 172.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Conforme afirmado no Capítulo 1, os objetivos concretos do trabalho realizado foram: (i) o desenvolvimento de um métrica de holística de QV para avaliar a veridura de atividades laboratoriais; (ii) a avaliação da veridura das atividades laboratoriais dos atuais programas de Química do 10º e 11º ano, aplicando a métrica holística desenvolvida; (iii) o desenvolvimento de um instrumento de análise do cumprimento da postura CTSS das atividades laboratoriais e sua aplicação à avaliação das atividades propostas nos referidos programas; e (iv) a realização, a várias escalas, de reações de síntese adequadas ao Ensino Secundário, avaliando a veridura por uso de métricas (EV e métricas de massa).

A seguir, procura resumir-se os resultados obtidos e o cumprimento destes objetivos e fazer algumas sugestões para trabalho futuro, concluindo-se depois com algumas considerações breves de índole geral.

7.1. Resultados obtidos e concretização dos objetivos

Os objetivos são considerados individualmente a seguir.

Desenvolvimento de uma métrica holística. Foi criada a EV, uma métrica que desse uma visão globalizante da veridura na perseguição da QV, desenvolvida no sentido de ser facilmente implementada e usada pelos alunos de todos os níveis de ensino. Deste modo, os alunos poderão analisar a veridura das atividades laboratoriais de um modo mais completo, ou seja, tendo em consideração os riscos de todas as substâncias envolvidas no processo (e não apenas os reagentes mas também os coprodutos, produtos, e resíduos formados), assim como a quantidade de resíduos formados, e a eficiência energética, entre outros parâmetros da QV.

Para avaliar a performance e confirmar a utilidade da EV, utilizou-se a métrica na avaliação da veridura das atividades laboratoriais propostas do programa de Química do 10º e 11º anos, bem como de trabalhos práticos de síntese. Verificou-se que a EV cumpria bem a finalidade desejada, embora apresente algumas limitações tais como: não reflete o facto de uma atividade ser ou não realizada a microescala; não permite distinguir uma experiência em que todas as substâncias são perigosas, de uma outra em que apenas uma das substâncias

envolve riscos; e não tem em conta a quantidade de resíduos formados, o que pode ser colmatado com a utilização concomitante de métricas de massa.

Um modo de melhorar a EV será, por exemplo, introduzir mais níveis de avaliação para cada princípio, permitindo uma maior discriminação na análise. Esta proposta implica também a introdução de mais níveis na análise dos riscos.

Avaliação da veridura das atividades laboratoriais dos atuais programas de Química do 10º e 11º anos. A EV foi usada na avaliação da veridura das atividades laboratoriais propostas do programa de Química do 10º e 11º anos, para tentar esclarecer o nível das mesmas e, globalmente, dos programas, e detetar as experiências do Ensino Secundário que devem ser revistas ou substituídas, por serem problemáticas quanto à veridura.

Desta aplicação resultou como conclusão que a maior parte das experiências apresenta uma veridura limitada, uma vez que uma percentagem significativa apresenta riscos elevados para a saúde e para o ambiente, pelo que devem ser revistas ou substituídas.

Desenvolvimento de um instrumento de análise do cumprimento da postura CTSS das atividades laboratoriais e sua aplicação à avaliação dos atuais programas de Química do 10º e 11º anos. Atendendo a que os atuais programas para o ensino da Física e da Química no Ensino Secundário referem, na sua apresentação, a opção pela “educação CTS” e que na situação atual, a Tecnologia tem de contribuir para o Desenvolvimento Sustentável, esta postura deverá incluir a Sustentabilidade (“educação CTSS”). Assim, investigou-se até que ponto as atividades laboratoriais se integravam nesta postura. Para isso, construiu-se uma ferramenta SWOT para analisar se um conjunto de objetivos estabelecidos (enquadrados numa postura CTSS) era cumprido. Os resultados da análise SWOT mostraram que a ferramenta funcionava eficazmente para o fim em vista e que as experiências programadas não suportam o ensino CTSS, pois uma fração apreciável dos pontos fortes não era satisfeita por mais de 80% das mesmas.

Os resultados da implementação da análise SWOT corroboram a conclusão que se obteve aquando da aplicação da EV, ou seja, que as atividades experimentais dos atuais programas não se enquadram num Ensino dirigido ao Desenvolvimento Sustentável e devem ser revistas. Provavelmente, a adoção da postura CTSS que presentemente se impõe, exigirá profundas alterações globais nos programas vigentes, para atender ao novo paradigma do Desenvolvimento Sustentável.

Este assunto poderá ser objeto de investigação adicional com a ferramenta SWOT, já que o alcance desta é lato – desde que se comece por definir claramente os objetivos a cumprir.

Avaliação da verduira de reações de síntese a várias escalas. Atendendo a que no caso das experiências de síntese, a avaliação da verduira química é mais complexa, foram realizadas experiências deste tipo que poderão ser utilizadas no Ensino Secundário, com o objetivo de avaliar e otimizar a verduira. O trabalho envolveu duas experiências – o ciclo do cobre (constante do programa atual de Química do 12.º ano) e a síntese da dibenzalacetona.

No caso do ciclo do cobre, otimizou-se a verduira através de alterações nas quantidades de reagentes utilizados, comprovada por melhorias das métricas de massa. A otimização das experiências, em que se procura reduzir o excesso de reagentes e a produção de resíduos, e confirmando, através de métricas, o aumento da verduira que daí resulta, permite sensibilizar os alunos para o facto de que se deve procurar melhorar os processos químicos, de modo a torná-los mais verdes.

Na síntese da dibenzalacetona foram analisados vários protocolos, recorrendo à EV, sendo depois selecionado o mais verde. A utilização desta métrica permitiu uma avaliação da verduira sem ser necessário realizar as experiências dos diversos protocolos. As reações de síntese foram efetuadas, seguindo o protocolo selecionado, a várias escalas, o que permitiu concluir que o fator escala influencia as diversas métricas de massa da QV, e portanto a verduira, quando os rendimentos obtidos são significativamente diferentes. Verificou-se também que outros parâmetros, para além do rendimento, podem ser ajustados para influenciar positivamente as métricas da QV, como a realização das reações em proporções próximas das estequiométricas e a redução de solventes e outras substâncias auxiliares. Verificou-se ainda que, neste caso, a verduira global, quando se considera o cumprimento do princípios da QV, não varia com a escala. No entanto, a realização a microescala tem vantagens no que se refere à redução dos riscos envolvidos, atendendo à diminuição da exposição resultante da diminuição das quantidades, para além da redução da quantidade de resíduos produzidos e de custos.

7.2. Conclusões finais

A inclusão da QV no Ensino poderá desenvolver nos alunos um novo olhar – mais atento e otimista – para um horizonte de integração e enquadramento da Química no seio do Desenvolvimento Sustentável (não comprometendo, em simultâneo, a integridade do

conhecimento químico). Para isso, tornar-se-á essencial incorporar nos currículos de Química novos conceitos, nomeadamente os princípios e as métricas de QV. Um método pedagógico de integrar estes conceitos baseia-se na realização de atividades experimentais, com destaque para a realização de sínteses, que integrem proactivamente, na sua conceção e análise, aspetos como os princípios QV e a sustentabilidade. Nesse sentido, devem ser utilizadas métricas de avaliação da verdura (métricas holísticas, de massa e ambientais) no ensino da Química.

Em jeito de conclusão, quer-se acreditar que algures, num futuro próximo, os resultados e conclusões deste estudo venham a ser utilizados numa eventual reformulação do atual programa de Química do Ensino Secundário. Ao fazerem-no, os responsáveis máximos pela educação em Portugal poderão contribuir não só para um acréscimo de Sustentabilidade, mas também para uma poupança substancial em reagentes e tratamento de resíduos. Em simultâneo, também poderão fomentar um acréscimo de consciencialização ambiental por parte daqueles que virão a ser o futuro do nosso país.

ANEXOS

ANEXO I

ATRIBUIÇÃO DA PONTUAÇÃO NOS HMIS

Tabela 1. Pontuações de risco para a saúde e de acidente utilizando os HMIS (p=pontuação) [9]

Risco	P	Significado
Risco para a saúde	4	Pode causar danos letais, significativos ou permanentes à saúde devido a exposições únicas ou repetidas.
	3	Pode causar uma doença grave a menos que sejam tomadas medidas rápidas e tratamento médico.
	2	Pode causar danos temporários ou de menor gravidade.
	1	Pode causar irritação ou danos de menor gravidade.
	0	Não apresenta danos significativos à saúde.
Inflamabilidade	4	Gases inflamáveis ou líquidos muito voláteis inflamáveis com pontos de fulgor abaixo de 23°C, e pontos de ebulição abaixo de 38°C, e também materiais que podem incendiar espontaneamente em contato com o ar (Classe IA).
	3	Materiais capazes de ter ignição sob quase todas as condições usuais de temperatura. Inclui os líquidos inflamáveis, com pontos de fulgor abaixo de 23°C, e pontos de ebulição acima de 38°C, bem como líquidos com pontos de fulgor entre 23 e 38°C (Classes IB e IC).
	2	Materiais que devem ser aquecidos moderadamente ou expostos a elevadas temperaturas antes de ocorrer a ignição. Inclui líquidos que têm ponto de fulgor acima de 38, porém abaixo de 93°C (Classes II e IIIA).
	1	Materiais que devem ser pré-aquecidos para ocorrer a ignição. Inclui líquidos, sólidos e semissólidos com ponto de fulgor acima de 93°C (Classe IIIB).
	0	Materiais não combustíveis.
Risco Físico	4	Materiais que são capazes de sofrer reação explosiva com a água, detonação ou decomposição explosiva, polimerização ou reação espontânea em condições normais de temperatura e pressão.
	3	Materiais que podem formar misturas explosivas com a água e são capazes de detonação ou reação explosiva na presença de uma fonte de energia, podendo polimerizar, se decompor, reagir espontaneamente ou sofrer outras alterações químicas em condições normais de temperatura e pressão, com risco moderado de explosão.
	2	Materiais instáveis que são instáveis e podem sofrer violentas alterações químicas em condições normais de temperatura e pressão. Materiais que podem reagir violentamente com a água ou formar peróxidos quando expostos ao ar.
	1	Materiais que são normalmente estáveis, porém podem se tornar instáveis em temperaturas e pressões elevadas. Podem reagir de forma não violenta com a água ou sofrer polimerização na ausência de inibidores.
	0	Materiais não explosivos. São normalmente estáveis, ainda em incêndios, e não reagem com a água, nem polimerizam, decompõem, condensam nem se tornam instáveis.

ANEXO II

CONSTRUÇÃO DAS EV PARA AS ATIVIDADES LABORATORIAIS DO 10º ANO

UTILIZANDO OS SÍMBOLOS

Tabela 1. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 1 da AL 0.1

Atividade 1 - Separar os componentes de uma mistura de água, sal e solo	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Cloreto de sódio ^{1,2}	-	1	1	1
Solo	-	1	1	1
Resíduos				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Cloreto de sódio ^{1,2}	-	1	1	1
Solo	-	1	1	1

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 2. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 2a da AL 0.1

Atividade 2 - Separar uma gordura de uma solução aquosa a) Mistura de óleo ou azeite e água separada por decantação.	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Azeite ^{1,2}	-	1	1	1
Óleo de cozinha ^{1,2}	-	1	1	1
Resíduos				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Azeite ^{1,2}	-	1	1	1
Óleo de cozinha ^{1,2}	-	1	1	1

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 3. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 2b da AL 0.1

Atividade 2 - Separar uma gordura de uma solução aquosa b) Mistura de hexano e água separada por decantação.	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Hexano	Xn, F, N	2	3	3
Resíduos				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Hexano	Xn, F, N	2	3	3

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 4. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 3 da AL 0.1

Atividade 3 - Dessalinizar água do mar ou água salgada	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Cloreto de sódio ^{1,2}	-	1	1	1
Resíduos				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Cloreto de sódio ^{1,2}	-	1	1	1

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 5. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 4 da AL 0.1

Atividade 4 - Separar dois líquidos miscíveis Uma mistura de água e acetona é separada por destilação fracionada.	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Acetona	Xi, F	2	1	3
Resíduos				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Acetona	Xi, F	2	1	3

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 6. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL0.1

Princípio da QV	Atividade 1		Atividade 2a		Atividade 2b		Atividade 3		Atividade 4	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	3	Todos os resíduos são inócuos	3	Todos os resíduos são inócuos	1	Hexano (N)	3	Todos os resíduos são inócuos	2	Acetona (Xi)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	2	Aquecimento na destilação $T \leq 100^\circ\text{C}$	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	2	Aquecimento na destilação $T \leq 100^\circ\text{C}$	2	Aquecimento na destilação $T \leq 100^\circ\text{C}$
P7 – Uso de matérias primas renováveis	3	Todas as substâncias são renováveis (NaCl, água e solo)	3	Todas as substâncias são renováveis (água, óleo e azeite)	1	Pelo menos uma substância não é renovável (hexano)	3	Todas as substâncias são renováveis (NaCl, água)	1	Pelo menos uma substância não é renovável (acetona)
P10 – Planificação para a degradação	3	Todas as substâncias são degradáveis (NaCl, água e solo)	3	Todas as substâncias são degradáveis (água, óleo e azeite)	1	O hexano não é degradável nem pode ser tratado para a sua degradação em produtos inócuos	3	Todas as substâncias são degradáveis (NaCl, água)	1	A acetona não é degradável nem pode ser tratada para a sua degradação em produtos inócuos
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	3	Baixo risco de acidente químico	3	Baixo risco de acidente químico	1	Hexano (F)	3	Baixo risco de acidente químico	1	Acetona (F)

Tabela 7. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na AL 1.2

AL 1.2 – Análise elementar por via seca	Atividade 1	Atividade 2	Atividade 3	Atividade 4	Atividade 5	Atividade 6	Atividade 7	Atividade 8	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes												
Cloreto de sódio ^{1,2}	•								-	1	1	1
Cloreto de bário		•							T	3	1	3
Cloreto de cálcio			•						Xi	2	1	2
Cloreto de potássio				•					-	1	1	1
Cloreto de Cobre (I)					•				Xn, N	2	3	2
Cloreto de Cobre (II)						•			Xn, N	2	3	2
Cloreto de lítio							•		Xn	2	1	2
Cloreto de estrôncio								•	Xi	2	1	2
Resíduos												
Cloreto de sódio ^{1,2}	•								-	1	1	1
Cloreto de bário		•							T	3	1	3
Cloreto de cálcio			•						Xi	2	1	2
Cloreto de potássio				•					-	1	1	1
Cloreto de Cobre (I)					•				Xn, N	2	3	2
Cloreto de Cobre (II)						•			Xn, N	2	3	2
Cloreto de lítio							•		Xn	2	1	1
Cloreto de estrôncio								•	Xi	2	1	2

¹Renovável

²Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 8. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL1.2(1-4)

Princípio da QV	Atividade 1		Atividade 2		Atividade 3		Atividade 4	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	3	Resíduos inócuos	1	BaCl ₂ (T)	2	CaCl ₂ (Xi)	3	Resíduos inócuos
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	1	Aquecimento T>100°C	1	Aquecimento T>100°C	1	Aquecimento T>100°C	1	Aquecimento T>100°C
P7 – Uso de matérias primas renováveis	3	NaCl renovável	1	BaCl ₂ não renovável	1	CaCl ₂ não renovável	1	KCl não renovável
P10 – Planificação para a degradação	3	NaCl degradável	1	BaCl ₂ não degradável	3	CaCl ₂ degradável	1	KCl não degradável
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	3	Baixo risco de acidente químico	1	BaCl ₂ (T)	2	CaCl ₂ (Xi)	3	Baixo risco de acidente químico

Tabela 9. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL1.2(5-8)

Princípio da QV	Atividade 5		Atividade 6		Atividade 7		Atividade 8	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	1	CuCl (N)	1	CuCl ₂ (N)	2	LiCl (Xn)	2	SrCl ₂ (Xi)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Não se utilizam substâncias auxiliares	3	Não se utilizam substâncias auxiliares	3	Não se utilizam substâncias auxiliares	3	Não se utilizam substâncias auxiliares
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	1	Aquecimento T>100°C	1	Aquecimento T>100°C	1	Aquecimento T>100°C	1	Aquecimento T>100°C
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	CuCl não renovável	1	CuCl ₂ não renovável	1	LiCl não renovável	1	SrCl ₂ não renovável
P10 – Planificação para a degradação	1	CuCl não degradável	1	CuCl ₂ não degradável	1	Li não degradável	1	SrCl ₂ não degradável
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	2	CuCl (Xn)	2	CuCl ₂ (Xn)	2	LiCl (Xn)	2	SrCl ₂ (Xi)

Tabela 10. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 1 da AL 1.3

Atividade 1 - Determinação da densidade e da densidade relativa de um sólido	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Cubo / Esfera de cobre, chumbo, alumínio, latão	-	1	1	1
Substâncias auxiliares				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Resíduos				
Água ^{1,2}	-	1	1	1

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 11. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 2 da AL 1.3

Atividade 2 - Determinação da densidade e da densidade relativa de um líquido	a) água	b) etanol	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes						
Água ^{1,2}	•		-	1	1	1
Etanol		•	F	1	1	3
Resíduos						
Água ^{1,2}	•		-	1	1	1
Etanol		•	F	1	1	3

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 12. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 3 da AL 1.3

Atividade 3 - Determinação do ponto de ebulição de um líquido	a) água	b) etanol	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes						
Água ^{1,2}	•		-	1	1	1
Etanol		•	F	1	1	3
Resíduos						
Água ^{1,2}	•		-	1	1	1
Etanol		•	F	1	1	3

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 13. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 4 da AL 1.3

Atividade 4 - Determinação do ponto de fusão de um sólido	a) enxofre	b) naftaleno	c) ácido salicílico	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes							
Enxofre	•			F	1	1	3
Naftaleno		•		Xn, N	2	3	2
Ácido salicílico			•	Xn	2	1	2
Substâncias Auxiliares							
Parafina	•			-	1	1	1
Água ^{1,2}		•		-	1	1	1
Resíduos							
Enxofre	•			F	1	1	3
Naftaleno		•		Xn, N	2	3	2
Ácido salicílico			•	Xn	2	1	2
Parafina	•			-	1	1	1
Água ^{1,2}		•		-	1	1	1

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 14. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL1.3 (1-3a)

Princípio da QV	Atividade 1		Atividade 2a		Atividade 2b		Atividade 3a	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	3	Resíduos inócuos	3	Resíduos inócuos	3	Resíduos inócuos	3	Resíduos inócuos
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Substâncias auxiliares inócuas (H ₂ O)	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	2	Aquecimento T _≤ 100°C
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Metais não renováveis	3	Todas as substâncias renováveis (água)	1	Etanol não renovável	3	Todas as substâncias renováveis (água)
P10 – Planificação para a degradação	1	Metais não degradáveis	3	Todas as substâncias degradáveis (água)	1	Etanol não degradável	3	Todas as substâncias degradáveis (água)
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	3	Baixo risco de acidente químico	3	Baixo risco de acidente químico	1	Etanol (F)	3	Baixo risco de acidente químico

Tabela 15. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL1.3 (3b-4c)

Princípio da QV	Atividade 3b		Atividade 4a		Atividade 4b		Atividade 4c	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	3	Resíduos inócuos	3	Resíduos inócuos	1	Naftaleno (N)	2	Ácido salicílico (Xn)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substâncias auxiliares	3	Substâncias auxiliares inócuas (parafina)	3	Substâncias auxiliares inócuas (H ₂ O)	3	Sem substâncias auxiliares
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	2	Aquecimento T _≤ 100°C	1	Aquecimento T _{>} 100°C	2	Aquecimento T _≤ 100°C	1	Aquecimento T _{>} 100°C
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Etanol não renovável	1	Enxofre não renovável	1	Naftaleno não renovável	1	Ácido salicílico não renovável
P10 – Planificação para a degradação	1	Etanol não degradável	1	Enxofre não degradável	1	Naftaleno não degradável	1	Ácido salicílico não degradável
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Etanol (F)	1	Enxofre (F)	2	Naftaleno (Xn)	2	Ácido salicílico (Xn)

Tabela 16. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 1 da AL 2.1

Atividade 1 - Preparação de soluções	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Tiosulfato de sódio pentaidratado	-	1	1	1
Resíduos				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Tiosulfato de sódio pentaidratado	-	1	1	1

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 17. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 2a da AL 2.1

Atividade 2 - Preparação de coloides a) por adição de uma solução saturada de acetato de cálcio a etanol absoluto	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Acetato de cálcio	-	1	1	1
Etanol	F	1	1	3
Resíduos				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Acetato de cálcio	-	1	1	1
Etanol	F	1	1	3

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 18. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 2b da AL 2.1

Atividade 2 - Preparação de coloides b) através da reação entre ácido clorídrico (concentrado) e solução diluída de tiosulfato de sódio.	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Tiosulfato de sódio pentaidratado	-	1	1	1
Ácido clorídrico concentrado	C	3	1	3
Resíduos				
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Tiosulfato de sódio pentaidratado	-	1	1	1
Ácido clorídrico concentrado	C	3	1	3
Dióxido de enxofre	T,C	3	1	3
Enxofre	F	1	1	3

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 19. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL2.1

Princípio da QV	Atividade 1		Atividade 2a		Atividade 2b	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	3	Todos os resíduos são inócuos	3	Todos os resíduos são inócuos	1	Dióxido de enxofre (T, C), ácido clorídrico (C)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Substâncias auxiliares inócuas (água)	3	Substâncias auxiliares inócuas (água)	3	Substâncias auxiliares inócuas (água)
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Tiosulfato de sódio não renovável	1	Substâncias não renováveis (acetato de cálcio e etanol)	1	Substâncias não renováveis (ácido clorídrico e tiosulfato de sódio)
P10 – Planificação para a degradação	1	Tiosulfato de sódio não degradável	1	Substâncias não degradáveis (acetato de cálcio e etanol)	1	Substâncias não degradáveis (dióxido de enxofre, ácido clorídrico e tiosulfato de sódio)
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	3	Baixo risco de acidente químico	1	Etanol (F)	1	Ácido clorídrico (C), enxofre (F) e dióxido de enxofre (T, C),

ANEXO III

CONSTRUÇÃO DAS EV PARA AS ATIVIDADES LABORATORIAIS DO 11º ANO

UTILIZANDO OS SÍMBOLOS

Tabela 1. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas no teste A da AL 1.1

Teste A – Identificação de amoníaco gasoso pela formação de cloreto de amónio sólido na reação com cloreto de hidrogénio gasoso	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Acetato de amónio	-	1	1	1
Adubo fertilizante de plantas	-	1	1	1
Ácido clorídrico (solução concentrada)	C	3	1	3
Amoníaco (solução a 5%)	-	1	1	1
Detergente amoniacal	-	1	1	1
Hidróxido de sódio (solução 0,1 mol dm ⁻³)	Xi	2	1	2
Resíduos				
Acetato de sódio (aq)	-	1	1	1
Amoníaco em solução, se ficar em excesso	-	1	1	1
Amoníaco gasoso	T, N	3	3	3
Cloreto de amónio	Xn	2	1	2
Hidróxido de sódio em solução, se ficar em excesso	Xi	2	1	2
Sais de amónio, se ficarem em excesso	-	1	1	1

Tabela 2. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas no teste B da AL 1.1

Teste B – Identificação de amoníaco gasoso pelo carácter alcalino de uma solução de amoníaco em água	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Acetato de amónio	-	1	1	1
Adubo fertilizante de plantas	-	1	1	1
Amoníaco (solução a 5%)	-	1	1	1
Detergente amoniacal	-	1	1	1
Hidróxido de sódio (solução 0,1 mol dm ⁻³)	Xi	2	1	2
Papel vermelho de tornesol humedecido com água	-	1	1	1
Resíduos				
Acetato de sódio (aq)	-	1	1	1
Amoníaco em solução, se ficar em excesso	-	1	1	1
Amoníaco gasoso	T, N	3	3	3
Hidróxido de sódio em solução, se ficar em excesso	Xi	2	1	2
Sais de amónio, se ficarem em excesso	-	1	1	1

Tabela 3. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas no teste C da AL 1.1

Teste C – Identificação de amoníaco, ou sais de amónio, por reação com o reagente de Nessler.	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Acetato de amónio	-	1	1	1
Adubo fertilizante de plantas	-	1	1	1
Amoníaco (solução a 5%)	-	1	1	1
Detergente amoniacal	-	1	1	1
Reagente de Nessler	T ⁺ , N	3	3	3
Resíduos				
Amoníaco gasoso	T, N	3	3	3
Sais de amónio se ficarem em excesso	-	1	1	1
Amoníaco em solução, se ficar em excesso	-	1	1	1
Sal complexo contendo mercúrio e iodo ³	T ⁺ , N	3	3	3

³ Considera-se que o complexo que se forma contém mercúrio e iodo, pelo que os riscos para a saúde são os mesmos do reagente de Nessler, no entanto não se conhece exatamente o sal que se forma.

Tabela 4. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas no teste D da AL 1.1

Teste D – Identificação de amoníaco pela formação do ião complexo tetraaminocobre (II) de cor azul intensa.	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Acetato de amónio	-	1	1	1
Adubo fertilizante de plantas	-	1	1	1
Detergente amoniacal	-	1	1	1
Hidróxido de sódio (solução 0,1 mol dm ⁻³)	Xi	2	1	2
Sulfato de cobre pentaidratado (solução 0,1 mol dm ⁻³)	Xn, N	2	3	2
Resíduos				
Acetato de sódio (aq)	-	1	1	1
Amoníaco gasoso	T, N	3	3	3
Sulfato de cobre pentaidratado em solução, se ficar em excesso	Xn, N	2	3	2
Sulfato de tetraaminocobre(II) monohidratado em solução	Xi	2	1	2

Tabela 5. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL1.1

Princípio da QV	TESTE A		TESTE B		TESTE C		TESTE D	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	1	Amoníaco gasoso (T, N)	1	Amoníaco gasoso (T, N)	1	Sal complexo contendo iodo e mercúrio (T ⁺ , N), amoníaco gasoso (T, N)	1	Sulfato de cobre pentaidratado em excesso (N), amoníaco gasoso (T, N)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Pelo menos uma das substâncias não é renovável (amoníaco, ácido clorídrico e hidróxido de sódio)	1	Pelo menos uma das substâncias não é renovável (amoníaco e hidróxido de sódio)	1	Pelo menos uma das substâncias não é renovável (reagente de Nessler e sal complexo contendo iodo e mercúrio)	1	Pelo menos uma das substâncias não é renovável (sulfato de cobre pentaidratado, sulfato de tetraaminocobre(II) monoidratado, hidróxido de sódio)
P10 – Planificação para a degradação	1	Substâncias não degradáveis (amoníaco, ácido clorídrico e hidróxido de sódio)	1	Substâncias não degradáveis (amoníaco e hidróxido de sódio)	1	Substâncias não degradáveis (reagente de Nessler e sal complexo contendo iodo e mercúrio)	1	Substâncias não degradáveis (sulfato de cobre pentaidratado, sulfato de tetraaminocobre(II) monoidratado, hidróxido de sódio)
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Amoníaco gasoso (T) e ácido clorídrico (C)	1	Amoníaco gasoso (T)	1	Reagente de Nessler (T ⁺) e amoníaco gasoso (T)	1	Amoníaco gasoso (T)

Tabela 6. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas da AL 1.2

AL 1.2. - Síntese do sulfato de tetraaminocobre (II) mono-hidratado	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Amoníaco (solução a 25%)	C,N	3	3	3
Sulfato de cobre pentaidratado	Xn, N	2	3	2
Substâncias auxiliares				
Etanol	F	1	1	3
Produto				
Sulfato de tetraaminocobre(II) monohidratado	Xi	2	1	2
Resíduos				
Amoníaco (aq)	C, N	3	3	3
Etanol	F	1	1	3

Tabela 7. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL1.2

PRINCÍPIOS	Pontuação	Explicação
P1 – Prevenção	1	Amoníaco (N) nos resíduos
P2- Economia atômica	2	Grande excesso de amoníaco e sem coprodutos
P3 – Sínteses menos perigosas	1	Sulfato de cobre (N), Amoníaco (C, N)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Etanol sem indicação de toxicidade
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	2	Arrefecimento a 0°C
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável
P8 – Redução de derivatizações	3	Sem derivatizações
P9 – Catalisadores	3	Sem catalisadores
P10 – Planificação para a degradação	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Etanol (F), amoníaco(C)

Tabela 8. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 1 da AL 1.3

Atividade 1 – Efeito da variação da temperatura	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Ácido clorídrico concentrado	C	3	1	3
Cloreto de cobalto(II) hexaidratado	T, N	3	3	3
Resíduos				
Complexos de cobalto(II) em solução	T, N	3	3	3

Tabela 9. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 2a da AL 1.3

Atividade 2 – Efeito da variação da concentração a) Adição de água	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Ácido clorídrico concentrado	C	3	1	3
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Complexos de cobalto(II) em solução	T, N	3	3	3
Resíduos				
Complexos de cobalto(II) em solução	T, N	3	3	3

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 10. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 2b da AL 1.3

Atividade 2 – Efeito da variação da concentração b) Adição de ácido clorídrico	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Ácido clorídrico concentrado	C	3	1	3
Complexos de cobalto(II) em solução	T, N	3	3	3
Resíduos				
Complexos de cobalto(II) em solução	T, N	3	3	3

Tabela 11. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 2c da AL 1.3

Atividade 2 – Efeito da variação da concentração c) Adição de cloreto de cobalto	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Ácido clorídrico concentrado	C	3	1	3
Cloreto de cobalto(II) hexaidratado	T, N	3	3	3
Complexos de cobalto(II) em solução	T, N	3	3	3
Resíduos				
Complexos de cobalto(II) em solução	T, N	3	3	3

Tabela 12. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL1.3

Princípio da QV	Atividade 1 – Efeito da temperatura		Atividade 2 – Efeito da variação da concentração a) Adição de água		Atividade 2 – Efeito da variação da concentração b) Adição de ácido clorídrico		Atividade 2 – Efeito da variação da concentração c) Adição de cloreto de cobalto	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	1	Complexos de cobalto(II) em solução (T,N)	1	Complexos de cobalto(II) em solução (T,N)	1	Complexos de cobalto(II) em solução (T,N)	1	Complexos de cobalto(II) em solução (T,N)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	2	Aquecimento $T \leq 100^{\circ}\text{C}$	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Substâncias não renováveis (compostos de cobalto)	1	Substâncias não renováveis (compostos de cobalto)	1	Substâncias não renováveis (compostos de cobalto)	1	Substâncias não renováveis (compostos de cobalto)
P10 – Planificação para a degradação	1	Substâncias não degradáveis (compostos de cobalto)	1	Substâncias não degradáveis (compostos de cobalto)	1	Substâncias não degradáveis (compostos de cobalto e ácido clorídrico)	1	Substâncias não degradáveis (compostos de cobalto)
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Complexos de cobalto(II) em solução (T), ácido clorídrico (C)	1	Complexos de cobalto(II) em solução (T), ácido clorídrico (C)	1	Complexos de cobalto(II) em solução (T), ácido clorídrico (C)	1	Complexos de cobalto(II) em solução (T), cloreto de cobalto(II) (T), ácido clorídrico (C)

Tabela 13. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 1 da AL 2.1

Atividade 1 - Classificação de águas e de outras soluções aquosas em ácidas, neutras ou alcalinas	a) Fenolftaleína	b) Azul de Bromofenol	c) Tornesol	d) Carmim de índigo	e) Indicador universal	f) Alaranjado de Metilo	g) Vermelho de metilo	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes											
Tipos diferentes de água ^{1,2}	•	•	•	•	•	•	•	-	1	1	1
a) Fenolftaleína	•							T	3	1	3
b) Azul de bromofenol		•						-	1	1	1
c) Tornesol			•					Xn	2	1	2
d) Carmim de índigo				•				Xn	2	1	2
e) Indicador universal					•			F	1	1	3
f) Alaranjado de metilo						•		T	3	1	3
g) Vermelho de metilo							•	N	1	3	1
Resíduos											
Tipos diferentes de água ^{1,2}	•	•	•	•	•	•	•	-	1	1	1

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 14. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 2 da AL 2.1

Atividade 2 – Medição do pH de uma solução	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Tipos diferentes de água ^{1,2}	-	1	1	1
Substâncias auxiliares				
Soluções tampão de calibração ⁴	-	1	1	1
Resíduos				
Tipos diferentes de água ^{1,2}	-	1	1	1
Soluções tampão de calibração ⁴	-	1	1	1

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

⁴ Para as soluções tampão consultou-se o MSDS das soluções tampão de pH=4, pH=7, pH=10, da Hanna

Tabela 15. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 3 da AL 2.1

Atividade 3 – Apreciação do efeito da temperatura no pH de uma solução	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Tipos diferentes de água ^{1,2}	-	1	1	1
Substâncias auxiliares				
Soluções tampão de calibração ⁴	-	1	1	1
Resíduos				
Tipos diferentes de água ^{1,2}	-	1	1	1
Soluções tampão de calibração ⁴	-	1	1	1

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

⁴ Para as soluções tampão consultou-se o MSDS das soluções tampão de pH=4, pH=7, pH=10, da Hanna

Tabela 16. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL2.1. (1a-e)

Princípio da QV	Atividade 1a		Atividade 1b		Atividade 1c		Atividade 1d		Atividade 1e	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	3	Resíduos inócuos	3	Resíduos inócuos	3	Resíduos inócuos	3	Resíduos inócuos	3	Resíduos inócuos
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Fenolftaleína não renovável	1	Azul de bromofenol não renovável	1	Tornesol não renovável	1	Carmim de índigo não renovável	1	Indicador universal não renovável
P10 – Planificação para a degradação	1	Fenolftaleína não degradável	1	Azul de bromofenol não degradável	1	Tornesol não degradável	1	Carmim de índigo não degradável	1	Indicador universal não degradável
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Fenolftaleína (T)	3	Baixo risco de acidente químico	2	Tornesol (Xn)	2	Carmim de índigo (Xn)	1	Indicador universal (F)

Tabela 17. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL2.1.(1f-3)

Princípio da QV	Atividade 1f		Atividade 1g		Atividade 2		Atividade 3	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	3	Resíduos inócuos	3	Resíduos inócuos	3	Resíduos inócuos	3	Resíduos inócuos
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Substâncias auxiliares inócuas (soluções tampão)	3	Substâncias auxiliares inócuas (soluções tampão)
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	2	Aquecimento $T \leq 100^\circ\text{C}$
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Alaranjado de metilo não renovável	1	Vermelho de metilo não renovável	1	Substâncias não renováveis (soluções tampão)	1	Substâncias não renováveis (soluções tampão)
P10 – Planificação para a degradação	1	Vermelho de metilo não degradável	1	Vermelho de metilo não degradável	1	Substâncias não degradáveis (soluções tampão)	1	Substâncias não degradáveis (soluções tampão)
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Alaranjado de metilo (T)	3	Baixo risco de acidente químico	3	Baixo risco de acidente químico	3	Baixo risco de acidente químico

Tabela 18. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 1a da AL 2.2

Atividade 1a- Produção de CO ₂	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Ácido clorídrico (solução a 1 mol/dm ³)	Xi	2	1	2
Carbonato de cálcio ²	Xi	2	1	2
Indicador universal	F	1	1	3
Substâncias auxiliares				
Soluções tampão de calibração ⁴	-	1	1	1
Resíduos				
Cloreto de cálcio em solução ²	Xi	2	1	2
Dióxido de carbono	-	1	1	1
Soluções tampão de calibração ⁴	-	1	1	1

²Degradável com produtos de degradação inócuos

⁴Para as soluções tampão consultou-se o MSDS das soluções tampão de pH=4, pH=7, pH=10, da Hanna

Tabela 19. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 1b da AL 2.2

Atividade 1b- Produção de SO ₂	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Ácido sulfúrico (solução a 2 mol/dm ³)	Xi	2	1	2
Indicador universal	F	1	1	3
Sulfito de sódio	-	1	1	1
Substâncias auxiliares				
Soluções tampão de calibração ⁴	-	1	1	1
Resíduos				
Dióxido de enxofre	T	3	1	3
Soluções tampão de calibração ⁴	-	1	1	1
Sulfato de sódio em solução	-	1	1	1

⁴Para as soluções tampão consultou-se o MSDS das soluções tampão de pH=4, pH=7, pH=10, da Hanna

Tabela 20. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 2ai da AL 2.2

Atividade 2ai - Acido clorídrico	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Ácido clorídrico (solução a 0,1 mol/dm ³)	Xi	2	1	2
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Substâncias auxiliares				
Soluções tampão de calibração ⁴	-	1	1	1
Resíduos				
Ácido clorídrico diluído	Xi	2	1	2
Soluções tampão de calibração ⁴	-	1	1	1

¹Renovável

²Degradável com produtos de degradação inócuos

⁴Para as soluções tampão consultou-se o MSDS das soluções tampão de pH=4, pH=7, pH=10, da Hanna

Tabela 21. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 2aai da AL 2.2

Atividade 2aai - Acido nítrico	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Ácido nítrico (solução a 0,1 mol/dm ³)	Xi	2	1	2
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Substâncias auxiliares				
Soluções tampão de calibração ⁴	-	1	1	1
Resíduos				
Ácido nítrico diluído	Xi	2	1	2
Soluções tampão de calibração ⁴	-	1	1	1

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

⁴ Para as soluções tampão consultou-se o MSDS das soluções tampão de pH=4, pH=7, pH=10, da Hanna

Tabela 22. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade 2b da AL 2.2

Atividade 2b- Acido acético	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Ácido acético (solução a 0,1 mol/dm ³) ⁵	-	1	1	1
Água ^{1,2}	-	1	1	1
Substâncias auxiliares				
Soluções tampão de calibração ⁴	-	1	1	1
Resíduos				
Ácido acético diluído	-	1	1	1
Soluções tampão de calibração ⁴	-	1	1	1

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

⁴ Para as soluções tampão consultou-se o MSDS das soluções tampão de pH=4, pH=7, pH=10, da Hanna

⁵ Degradável- no MercK refere que 99% do ácido acético é degradável

Tabela 23. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL2.2.

Princípio da QV	Atividade 1a		Atividade 1b		Atividade 2ai		Atividade 2aii		Atividade 2b	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	2	Cloreto de cálcio (Xi)	1	Dióxido de enxofre (T)	2	Ácido clorídrico (Xi)	2	Ácido nítrico (Xi)	3	Resíduos inócuos
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Substâncias auxiliares inócuas (soluções tampão)	3	Substâncias auxiliares inócuas (soluções tampão)	3	Substâncias auxiliares inócuas (soluções tampão)	3	Substâncias auxiliares inócuas (soluções tampão)	3	Substâncias auxiliares inócuas (soluções tampão)
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Substâncias não renováveis (ácido clorídrico e soluções tampão)	1	Substâncias não renováveis (ácido sulfúrico, dióxido de enxofre e soluções tampão)	1	Substâncias não renováveis (ácido clorídrico e soluções tampão)	1	Substâncias não renováveis (ácido nítrico e soluções tampão)	1	Substâncias não renováveis (ácido acético e soluções tampão)
P10 – Planificação para a degradação	1	Ácido Clorídrico não degradável	1	Substâncias não degradáveis (Dióxido de enxofre, Acido Sulfúrico)	1	Ácido Clorídrico não degradável	1	Acido nítrico não degradável	1	Acido acético não degradável
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Indicador universal (F)	1	Dióxido de enxofre (T) e indicador universal (F)	2	Ácido clorídrico (Xi)	2	Ácido nítrico (Xi)	3	Baixo risco de acidente químico

Tabela 24. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na atividade AL 2.3

AL 2.3	Atividade 1a	Atividade 1b	Atividade 2	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes							
Ácido sulfúrico 0,05M	•	•	•	.	1	1	1
Fenolftaleína	•			T	3	1	3
Hidróxido de sódio 0,1 M	•	•	•	Xi	2	1	2
Vermelho de metilo		•		N	1	3	1
Substâncias auxiliares							
Soluções tampão de calibração ⁴	•	•	•	-	1	1	1
Resíduos							
Água ^{1,2}	•	•	•	-	1	1	1
Hidróxido de sódio em excesso			•	Xi	2	1	2
Soluções tampão de calibração ⁴	•	•	•	-	1	1	1
Sulfato de sódio	•	•	•	-	1	1	1

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

⁴ Para as soluções tampão consultou-se o MSDS das soluções tampão de pH=4, pH=7, pH=10, da Hanna

Tabela 25. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL2.3

Princípio da QV	Atividade 1a		Atividade 1b		Atividade 2	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	3	Resíduos inócuos	3	Resíduos inócuos	2	Hidróxido de sódio (Xi)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Substâncias auxiliares inócuas (soluções tampão)	3	Substâncias auxiliares inócuas (soluções tampão)	3	Substâncias auxiliares inócuas (soluções tampão)
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Substâncias são não renováveis (ácido sulfúrico, hidróxido de sódio e fenoltaleína)	1	Substâncias não renováveis (ácido sulfúrico, hidróxido de sódio e vermelho de metilo)	1	Substâncias não renováveis (ácido sulfúrico, hidróxido de sódio)
P10 – Planificação para a degradação	1	Substâncias não degradáveis (ácido sulfúrico, hidróxido de sódio e fenoltaleína)	1	Substâncias não degradáveis (ácido sulfúrico, hidróxido de sódio e vermelho de metilo)	1	Substâncias não degradáveis (ácido sulfúrico, hidróxido de sódio)
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Fenoltaleína (T)	2	Hidróxido de sódio (Xi)	2	Hidróxido de sódio (Xi)

Tabela 26. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na AL 2.4

AL 2.4.	a - Cu/Zn(NO ₃) ₂	b - Al/Zn(NO ₃) ₂	c - Mg/Zn(NO ₃) ₂	d - Zn/Cu(NO ₃) ₂	e - Al/Cu(NO ₃) ₂	f - Mg/Cu(NO ₃) ₂	g - Mg/Al(NO ₃) ₂	h - Cu/Al(NO ₃) ₂	j - Zn/Al(NO ₃) ₂	i - Cu/Mg(NO ₃) ₂	k - Zn/Mg(NO ₃) ₂	l - Al/Mg(NO ₃) ₂	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes																
Cobre folha	•							•		•			-	1	1	1
Magnésio, em fita			•			•	•						F	1	1	3
Alumínio folha		•			•							•	-	1	1	1
Zinco folha				•					•		•		-	1	1	1
Nitrato de zinco, sol	•	•	•										Xn, O	2	1	3
Nitrato de cobre, sol				•	•	•							C, O	3	1	3
Nitrato de alumínio, sol							•	•	•				Xi, O	2	1	3
Nitrato de magnésio, sol										•	•	•	Xi, O	2	1	3
Resíduos																
Nitrato de zinco, sol	•	•	•	•									Xn, O	2	1	3
Nitrato de alumínio, sol		•			•		•	•		•			Xi, O	2	1	3
Zinco pó		•	•										N	1	3	1
Nitrato de magnésio, sol			•			•	•		•		•	•	Xi, O	2	1	3
Nitrato de cobre, sol				•	•	•							C, O	3	1	3
Cobre pó				•	•	•							F	1	1	3
Alumínio pó							•						F	1	1	3

Tabela 27. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL 2.4.(a-f)

Princípio da QV	Atividade a		Atividade b		Atividade c		Atividade d		Atividade e		Atividade f	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	2	Nitrato de zinco (Xn)	1	Zinco pó (N)	1	Zinco pó (N)	1	Nitrato de cobre (C)	1	Nitrato de cobre (C)	1	Nitrato de cobre (C)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substância auxiliar	3	Sem substância auxiliar	3	Sem substância auxiliar	3	Sem substância auxiliar	3	Sem substância auxiliar	3	Sem substância auxiliar
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Substâncias não renováveis (metal e nitrato de zinco)	1	Substâncias não renováveis (metais e nitratos)	1	Substâncias não renováveis (metais e nitratos)	1	Substâncias não renováveis (metais e nitratos)	1	Substâncias não renováveis (metais e nitratos)	1	Substâncias não renováveis (metais e nitratos)
P10 – Planificação para a degradação	1	Substâncias não degradáveis (metal e nitrato de zinco)	1	Substâncias não degradáveis (metais e nitratos)	1	Substâncias não degradáveis (metais e nitratos)	1	Substâncias não degradáveis (metais e nitratos)	1	Substâncias não degradáveis (metais e nitratos)	1	Substâncias não degradáveis (metais e nitratos)
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Nitrato de zinco (O)	1	Nitrato de zinco e de alumínio (O)	1	Nitrato de magnésio e de zinco (O)	1	Nitrato de zinco (O), nitrato de cobre (O,C) e cobre pó (F)	1	Nitrato de alumínio (O), nitrato de cobre (O,C) e cobre pó (F)	1	Nitrato de magnésio (O), nitrato de cobre (O,C) e cobre pó (F)

Tabela 28. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL2.4 (g-l)

Princípio da QV	Atividade g		Atividade h		Atividade i		Atividade j		Atividade k		Atividade l	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	2	Nitrato de alumínio e de magnésio (Xi)	2	Nitrato de alumínio (Xi)	2	Nitrato de magnésio (Xi)	2	Nitrato de alumínio (Xi)	2	Nitrato de magnésio (Xi)	2	Nitrato de magnésio (Xi)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substância auxiliar	3	Sem substância auxiliar	3	Sem substância auxiliar	3	Sem substância auxiliar	3	Sem substância auxiliar	3	Sem substância auxiliar
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Substâncias não renováveis (metais e nitratos)	1	Substâncias não renováveis (cobre e nitrato de alumínio)	1	Substâncias não renováveis (cobre e nitrato de magnésio)	1	Substâncias não renováveis (zinco e nitrato de alumínio)	1	Substâncias não renováveis (zinco e nitrato de magnésio)	1	Substâncias não renováveis (alumínio e nitrato de magnésio)
P10 – Planificação para a degradação	1	Substâncias não degradáveis (metais e nitratos)	1	Substâncias não degradáveis (cobre e nitrato de alumínio)	1	Substâncias não degradáveis (cobre e nitrato de magnésio)	1	Substâncias não degradáveis (zinco e nitrato de alumínio)	1	Substâncias não degradáveis (zinco e nitrato de magnésio)	1	Substâncias não degradáveis (alumínio e nitrato de magnésio)
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Nitrato de magnésio e de alumínio (O) e alumínio pó (F)	1	Nitrato de alumínio(O)	1	Nitrato de magnésio(O)	1	Nitrato de alumínio(O)	1	Nitrato de magnésio (O)	1	Nitrato de magnésio (O)

Tabela 29. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na AL 2.5

AL 2.5 – Solubilidade: solutos e solventes	Atividade 1						Atividade 2	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente					
	a) Solvente água			b) Solvente: etanol								c) Solvente: Hexano				
	i) Cloreto de sódio	ii) Cloreto de cálcio	iii) Carbonato de cálcio	iv) Iodo	v) Heptano	vi) Etanol						vii) Hexano	i) Cloreto de sódio	ii) Cloreto de cálcio	iii) Carbonato de cálcio	iv) Iodo
Reagentes																
Cloreto de sódio ^{1, 2}	•						•						-	1	1	1
Cloreto de cálcio ²		•						•					Xi	2	1	2
Carbonato de cálcio ²			•						•				Xi	2	1	2
Iodo				•						•			Xn, N	2	3	2
Heptano					•							•	Xn, F, N	2	3	3
Etanol						•							F	1	1	3
Hexano							•						Xn, F, N	2	3	3
Nitrato de potássio												•	O	1	1	3
Água	•	•	•	•	•	•							-	1	1	1
Etanol							•	•	•	•	•	•	F	1	1	3
Hexano								•	•	•	•	•	Xn, F, N	2	3	3
Resíduos																
Cloreto de sódio ^{1, 2}	•						•						-	1	1	1
Cloreto de cálcio ²		•						•					Xi	2	1	2
Carbonato de cálcio ²			•						•				Xi	2	1	2
Iodo				•						•			Xn, N	2	3	2
Heptano					•							•	Xn, F, N	2	3	3
Etanol						•							F	1	1	3
Hexano							•						Xn, F, N	2	3	3
Nitrato de potássio												•	O	1	1	3
Água	•	•	•	•	•	•							-	1	1	1
Etanol							•	•	•	•	•	•	F	1	1	3
Hexano								•	•	•	•	•	Xn, F, N	2	3	3

¹ Renovável

² Degradável com produtos de degradação inócuos

Tabela 30. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL2.5 (1ai-vi)

Princípio da QV	Atividade 1ai		Atividade 1aii		Atividade 1aiii		Atividade 1aiv		Atividade 1av		Atividade 1avi	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	3	Resíduos inócuos	2	Cloreto de cálcio (Xi)	2	Carbonato de cálcio (Xi)	1	Iodo (N)	1	Heptano (N)	3	Resíduos inócuos
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais
P7 – Uso de matérias primas renováveis	3	Cloreto de sódio e água renováveis	1	Cloreto de cálcio não renovável	1	Carbonato de cálcio não renovável	1	Iodo não renovável	1	Heptano não renovável	1	Etanol não renovável
P10 – Planificação para a degradação	3	Todas as substâncias degradáveis	3	Todas as substâncias degradáveis	3	Todas as substâncias degradáveis	1	Iodo não degradável	1	Heptano não degradável	1	Etanol não degradável
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	3	Baixo risco de acidente químico	2	Cloreto de cálcio (Xi)	2	Carbonato de cálcio (Xi)	2	Iodo (Xn)	1	Heptano (F)	1	Etanol (F)

Tabela 31. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL2.5 (1avii-1biv)

Princípio da QV	Atividade 1avii		Atividade 1bi		Atividade 1bii		Atividade 1biii		Atividade 1biv	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	1	Hexano (N)	3	Resíduos inócuos	2	Cloreto de cálcio (Xi)	2	Carbonato de cálcio (Xi)	1	Iodo (N)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Hexano não renovável	1	Etanol não renovável	1	Substâncias não renováveis (cloreto de cálcio e etanol)	1	Substâncias não renováveis (carbonato de cálcio e etanol)	1	Substâncias não renováveis (etanol e iodo)
P10 – Planificação para a degradação	1	Hexano não degradável	1	Etanol não degradável	1	Etanol não degradável	1	Etanol não degradável	1	Substâncias não degradáveis (etanol e iodo)
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Hexano (F)	1	Etanol (F)	1	Etanol (F)	1	Etanol (F)	1	Etanol (F)

Tabela 32. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL2.5 (1bv-1ciii)

Princípio da QV	Atividade 1bv		Atividade 1bvi		Atividade 1ci		Atividade 1cii		Atividade 1ciii	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	1	Heptano (N)	1	Hexano (N)	1	Hexano (N)	1	Hexano (N)	1	Hexano (N)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Substâncias não renováveis (heptano e etanol)	1	Substâncias não renováveis (hexano e etanol)	1	Hexano não renovável	1	Substâncias não renováveis (cloreto de cálcio e hexano)	1	Substâncias não renováveis (carbonato de cálcio e hexano)
P10 – Planificação para a degradação	1	Substâncias não degradáveis (heptano e etanol)	1	Substâncias não degradáveis (hexano e etanol)	1	Hexano não degradável	1	Hexano não degradável	1	Hexano não degradável
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Etanol e Heptano (F)	1	Hexano e Etanol (F)	1	Hexano (F)	1	Hexano (F)	1	Hexano (F)

Tabela 33. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL2.5 (1civ-2)

Princípio da QV	Atividade 1civ		Atividade 1cv		Atividade 2	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	1	Iodo e Hexano (N)	1	Heptano e Hexano (N)	3	Resíduos inócuos
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressãc ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	2	Aquecimento $T \leq 100^{\circ}\text{C}$
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Substâncias não renováveis (iodo e hexano)	1	Substâncias não renováveis (heptano e hexano)	1	Nitrato de potássio não renovável
P10 – Planificação para a degradação	1	Substâncias não degradáveis (hexano e iodo)	1	Substâncias não degradáveis (hexano e heptano)	1	Nitrato de potássio não degradável
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Hexano (F)	1	Hexano e heptano(F)	1	Nitrato de potássio (O)

Tabela 34. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na AL 2.6

AL 2.6 – Dureza da água e problemas de lavagem	Atividade 1			Atividade 2		Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
	a - água endurecida com cloreto de cálcio	b- água endurecida com sulfato de magnésio	c- água destilada	a - Amaciador com carbonato de sódio água endurecida com cloreto de cálcio	b - Amaciador com carbonato de sódio água endurecida com sulfato de magnésio				
Reagentes									
Água destilada ^{1,2}	•	•	•	•	•	-	1	1	1
Carbonato de sódio ^{1,2}				•	•	Xi	2	1	2
Champô ²	•	•	•	•	•	-	1	1	1
Cloreto de cálcio ²	•			•		Xi	2	1	2
Detergente comercial ²	•	•	•	•	•	-	1	1	1
Sabão para lavagem manual ²	•	•	•	•	•	-	1	1	1
Sulfato de magnésio		•			•	-	1	1	1
Resíduos									
Água ^{1,2}	•	•	•	•	•	-	1	1	1
Estereato de cálcio ²	•					Xi	2	1	2
Estereato de magnésio ²		•				Xi	2	1	2
Carbonato de cálcio ²				•		Xi	2	1	2
Carbonato de magnésio					•	-	1	1	1

¹Renovável

²Degradável

Nota: Considerou-se que se utilizou champô e sabão que contém a indicação que é biodegradável na embalagem.

Tabela 35. Pontuações para construir as EV para as atividades laboratoriais AL2.6.

Princípio da QV	Atividade 1a		Atividade 1b		Atividade 1c		Atividade 2a		Atividade 2b	
	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação	P	Explicação
P1 – Prevenção	2	Estereato de cálcio (Xi)	2	Estereato de magnésio (Xi)	3	Resíduos sem riscos	2	Carbonato de cálcio de cálcio (Xi)	2	Carbonato de magnésio (Xi)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares	3	Sem substâncias auxiliares
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	3	Temperatura e pressão ambientais	2	Aquecimento T≤100°C	2	Aquecimento T≤100°C
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Substâncias não renováveis (Cloreto de cálcio e Estereato de cálcio)	1	Substâncias não renováveis (Cloreto de cálcio e estereato de cálcio)	1	Sabões não renováveis	1	Substâncias não renováveis (carbonato de sódio)	1	Substâncias não renováveis (carbonato de sódio e carbonato de magnésio)
P10 – Planificação para a degradação	3	Substâncias são degradáveis	1	sulfato de magnésio não degradável	3	Substâncias são degradáveis	3	Substâncias são degradáveis	1	Substâncias não degradáveis (carbonato e sulfato de magnésio)
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	2	Cloreto de cálcio e estereato de cálcio (Xi)	2	Estereato de magnésio (Xi)	3	Substâncias sem riscos de acidente	2	Carbonato de sódio e de cálcio e cloreto de cálcio (Xi)	2	Carbonato de sódio e de magnésio e sulfato de magnésio (Xi)

ANEXO IV
ANÁLISE SWOT CTSS DO 10º ANO

O instrumento de análise SWOT foi aplicado à totalidade das experiências propostas no programa de química, em vigor, do 10º do Ensino Secundário (Tabela 1). Na Tabela 2 apresenta-se as substâncias envolvidas nas experiências assim como os riscos para a saúde e para o ambiente, inflamabilidade, reatividade, etc. As matrizes SWOT das experiências do 10º ano são apresentados nas Tabelas 3 a 24.

Tabela 1. Experiências avaliadas do 10º Ano

Experiência	Designação das experiências 10º ano
1	Separar os componentes de uma mistura de água, sal e solo
2	Separar uma mistura de óleo ou azeite e água
3	Separar uma mistura de hexano e água
4	Dessalinizar água do mar ou água salgada
5	Separar água e acetona de uma mistura
6	Análise elementar do cloreto de sódio por via seca
7	Análise elementar do cloreto de bário por via seca
8	Análise elementar do cloreto de cálcio por via seca
9	Análise elementar do cloreto de sódio por via seca
10	Análise elementar do cloreto de cobre(I) por via seca
11	Análise elementar do cloreto de cobre(II) por via seca
12	Análise elementar do cloreto de lítio por via seca
13	Análise elementar do do cloreto de estrôncio por via seca
14	Determinação da densidade e da densidade relativa de um sólido
15	Determinação da densidade e da densidade relativa da água
16	Determinação da densidade e da densidade relativa do etanol
17	Determinação do ponto de ebulição da água
18	Determinação do ponto de ebulição do etanol
19	Determinação do ponto de fusão do enxofre
20	Determinação do ponto de fusão do naftaleno
21	Determinação do ponto de fusão do ácido salicílico
22	Preparação de soluções
23	Preparação de colóides por adição de uma solução saturada de acetato de cálcio a etanol absoluto
24	Preparação de colóides por reação entre ácido clorídrico (concentrado) e solução diluída de tiosulfato de sódio.

Tabela 2. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente das substâncias envolvidas no 10º Ano

Reagentes	Atividades	Símbolos
Acetato de cálcio	AL2.1 (2a)	-
Acetona	AL01 (4)	Xi, F
Ácido clorídrico	AL2.1(2a)	C
Ácido salicílico	AL1.3 (4c)	Xn
Dióxido de enxofre	AL2.1 (2b)	T, C
Água ^{1,2}	AL01 (1, 2a, 2b, 3, 4), AL1.3(1, 2a, 2b, 3a, 4b), AL2.1 (1, 2a, 2b)	-
Azeite ^{1,2}	AL01 (2a),	F
Cloreto de bário	AL12 (2)	T
Cloreto de cálcio ²	AL12 (3)	Xi
Cloreto de cobre (I)	AL12 (6)	Xn, N
Cloreto de cobre (II)	AL12 (5)	Xn, N
Cloreto de estrôncio	AL12 (8)	Xi
Cloreto de lítio	AL12 (7)	Xn
Cloreto de potássio	AL12 (4)	-
Cloreto de sódio ^{1,2}	AL01 (1, 3), AL12 (1)	-
Enxofre	AL1.3 (4a), AL2.1 (2b)	F
Etanol	AL1.3 (2b, 3b), AL2.1 (2a)	F
Hexano	AL01 (2b)	Xn, F, N
Naftaleno	AL1.3 (4b)	Xn, N
Óleo de cozinha ^{1,2}	AL01 (2a)	F
Parafina	AL1.3 (4a)	-
Solo ^{1,2}	AL01 (1)	-
Tiosulfato de sódio pentaidratado	AL2.1(1, 2b)	-

¹ Renováveis² Degradáveis com produtos de degradação inócuos

Experiência 1 – Separar os componentes de uma mistura de água, sal e solo. Nesta experiência do 10º ano [6], separam-se os componentes da mistura através de uma decantação, seguida de filtração e destilação simples. Os resultados apresentam-se na Tabela 3.

Tabela 3. Separar os componentes de uma mistura de água, sal e solo (experiência 1)

<p>Pontos Fortes</p> <ul 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 - Custo baixo de reagentes 15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos 16 - Só se utilizam materiais do quotidiano 19 - Utilização de equipamentos (manta) 	<p>Pontos Fracos</p> <ul style="list-style-type: none"> 8 - Consumo elevado de água como solvente 9 - Elevado consumo elevado de água como facilidade (refrigeração) 13 - É necessário aquecer (destilação) 17 - Sem relação com a química industrial 18 - Sem relação com a química do mundo real 20 - Não se utiliza instrumentação
<p>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>Ameaças</p> <ul style="list-style-type: none"> - Imposição externa para reduzir consumos de água e de energia

Experiências 2 e 3 - Separações de misturas por decantação. Nestas experiências do 10º ano [6], separam-se dois líquidos não miscíveis por decantação. Os resultados apresentam-se nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Separar uma mistura de óleo ou azeite e água por decantação (experiência 2)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 - Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Não há utilização de outros solventes para além da água</p> <p>11 - Utilização de materiais renováveis</p> <p>12 - Utilização de materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>13- Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>16 - Só se utilizam materiais do quotidiano</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (azeite e óleo de cozinha, F)</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utiliza equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p> <p>- Pode ser realizada a microescala</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (azeite e óleo de cozinha, F)</p>

Tabela 5. Separar uma mistura de hexano e água por decantação (experiência 3)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (hexano, Xn)</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 - Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Não há utilização de outros solventes para além da água</p> <p>13- - Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (hexano, N)</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (hexano, F)</p> <p>11 - Não há utilização de materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não há utilização de materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utiliza equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p> <p>- Pode ser realizada a microescala</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (hexano, N, F)</p> <p>- Verbas limitadas (para remoção de resíduos)</p>

Experiências 4 e 5 - Separações de misturas que envolvem destilações. Nestas experiências do 10º ano [6] procede-se à dessalinização da água do mar ou água salgada por destilação simples (experiência 4) e à separação de uma mistura de água e acetona por destilação fracionada (experiência 5). Os resultados apresentam-se nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6. Dessalinizar água do mar ou água salgada (experiência 4)

<p>Pontos Fortes</p> <ul 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 - Custo baixo de 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>Pontos Fracos</p> <ul style="list-style-type: none"> 8 - Consumo elevado de água como solvente 9 - Elevado 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>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>Ameaças</p> <ul style="list-style-type: none"> - Imposição externa para reduzir consumos de água e de energia

Tabela 7. Separar água e acetona de uma mistura (experiência 5)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (acetona, Xi)</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>4 - Risco baixo de acidente devido ao equipamento</p> <p>6 - Risco baixo de acidente devido à montagem</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>10 - Não há utilização de outros solventes para além da água</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15 - Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>19 - Utilização de equipamentos (manta)</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (acetona, F)</p> <p>8 - Consumo elevado de água como solvente</p> <p>9 - Elevado consumo de água como facilidade (refrigeração)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>13 - É necessário aquecer (destilação)</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p> <p>- Pode ser realizada a microescala</p> <p>- Pode reutilizar-se a água de refrigeração</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (acetona, F)</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de água e de energia</p>

Experiências 6 a 13 – Análise elementar por via seca. Nestas experiências do 10º ano [6], procede-se à queima de diversos sais e observa-se para cada amostra a cor conferida à chama e o tipo de espectro, concluindo-se sobre o catião presente em cada amostra. Os resultados apresentam-se nas Tabelas 8 a 13.

Tabela 8. Análise elementar do NaCl por via seca (experiência 6)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco baixo de acidente devido às substâncias envolvidas</p> <p>5 - Risco baixo de acidente devido à instrumentação</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 - Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>11 - Utilização de materiais renováveis</p> <p>12 - Utilização de materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>20 - Utilização de instrumentação (espectroscópio)</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>7 - Risco elevado de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório (utilização de gás)</p> <p>13 - É necessário aquecer</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de energia</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (bico de bunsen ou botija de “campingaz”)</p> <p>- Ausência de hottes suficientes nas escolas</p>

Tabela 9. Análise elementar do BaCl₂ por via seca (experiência 7)

<p>Pontos Fortes</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>5 - Risco baixo de acidente devido à instrumentação</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 - Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>20 - Utilização de instrumentação (espectroscópio)</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>1 - Risco elevado para a saúde devido às substâncias envolvidas (cloreto de bário, T)</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (cloreto de bário, T)</p> <p>7 - Risco elevado de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório (utilização de gás)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>13 - É necessário aquecer</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (bico de bunsen ou botija de “campingaz” e cloreto de bário, T)</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de energia</p> <p>- Ausência de hottes suficientes nas escolas</p>

Tabela 10. Análise elementar do CaCl_2 por via seca (experiência 8)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (cloreto de cálcio, Xi)</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (cloreto de cálcio, Xi)</p> <p>5 - Risco baixo de acidente devido à instrumentação</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 - Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>12 - Utilização de materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>20 - Utilização de instrumentação (espectroscópio)</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>7 - Risco elevado de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório (utilização de gás)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis</p> <p>13 - É necessário aquecer</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do cotidiano</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utiliza equipamentos</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <ul style="list-style-type: none"> - Imposição externa para reduzir consumos de energia - Imposição externa de maior segurança (bico de bunsen ou botija de “campingaz”) - Ausência de hottes suficientes nas escolas

Tabela 11. Análise elementar do KCl por via seca (experiência 9)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco baixo de acidente devido às substâncias envolvidas</p> <p>5 - Risco baixo de acidente devido à instrumentação</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 - Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>20 - Utilização de instrumentação (espectroscópio)</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>7 - Risco elevado de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório (utilização de gás)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>13 - É necessário aquecer</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do cotidiano</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utiliza equipamentos</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <ul style="list-style-type: none"> - Imposição externa para reduzir consumos de energia - Imposição externa de maior segurança (bico de bunsen ou botija de “campingaz”) - Ausência de hottes suficientes nas escolas

Tabela 12. Análise elementar do CuCl e do CuCl₂ por via seca (experiências 10 e 11)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (cloreto de cobre (I) e (II), Xn)</p> <p>3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (cloreto de cobre (I) e (II), Xn)</p> <p>5 - Risco baixo de acidente devido à instrumentação</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 - Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>20 - Utilização de instrumentação (espectroscópio)</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (cloreto de cobre (I) e (II), N)</p> <p>7 - Risco elevado de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório (utilização de gás)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>13 - É necessário aquecer</p> <p>14 - Custo elevado de reagentes</p> <p>15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos (cloreto de cobre (I) e (II), N)</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do cotidiano</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (bico de bunsen ou botija de “campingaz” e cloreto de cobre (I) e (II), N)</p> <p>- Verbas limitadas (para remoção de resíduos)</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de energia</p> <p>- Ausência de hottes suficientes nas escolas</p>

Tabela 13. Análise elementar do LiCl e do SrCl₂ por via seca (experiências 12 e 13)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (cloreto de lítio, Xn e cloreto de estrôncio, Xi)</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (cloreto de lítio, Xn e cloreto de estrôncio, Xi)</p> <p>5 - Risco baixo de acidente devido à instrumentação</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 - Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>20 - Utilização de instrumentação (espectroscópio)</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>7 - Risco elevado de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório (utilização de gás)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>13 - É necessário aquecer</p> <p>14 - Custo elevado de reagentes</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do cotidiano</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utiliza equipamentos</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de energia</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (bico de bunsen ou botija de “campingaz”)</p> <p>- Ausência de hottes suficientes nas escolas</p>

Experiência 14 – Determinação da densidade e da densidade relativa de um sólido Nesta experiência do 10º ano [6], procede-se à determinação da densidade de sólidos, utilizando os métodos do picnómetro e da determinação indireta (massa e volume). O resultado apresenta-se na Tabela 14.

Tabela 14 – Determinação da densidade e da densidade relativa de um sólido (experiência 14)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco baixo de acidente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>9 - Elevado consumo de água como facilidade</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>14 - Custo elevado de reagentes</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de água</p>

Experiências 15 e 16 – Determinação da densidade e da densidade relativa de um líquido Nestas experiências do 10º ano [6], procede-se à determinação da densidade de líquidos, usando os métodos do picnómetro e do densímetro. Os resultados apresentam-se nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15. Determinação da densidade e da densidade relativa da água (experiência 15)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco baixo de acidente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>9 - Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>11 - Utilização de materiais renováveis</p> <p>12 - Utilização de materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>16 - Só se utilizam materiais do quotidiano</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>8 – Elevado consumo de água como reagente</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de água</p>

Tabela 16. Determinação da densidade e da densidade relativa do etanol (experiência 16)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 - Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (etanol, F)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (etanol,F)</p>

Experiências 17 e 18 – Determinação do ponto de ebulição de um líquido Nestas experiências do 10º ano [6], procede-se à determinação do ponto de ebulição de líquidos, em que se efetua o aquecimento, em banho de água, da substância a analisar (utiliza-se um tubo de ensaio, termómetro e capilar). Os resultados apresentam-se nas Tabelas 17 e 18.

Tabela 17. Determinação do ponto de ebulição da água (experiência 17)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco baixo de acidente devido às substâncias envolvidas</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 – Baixo consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>11 - Utilização de materiais renováveis</p> <p>12 - Utilização de materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>16 - Utiliza materiais do quotidiano</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>7 - Risco elevado de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório (banho)</p> <p>13 – É necessário aquecer</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de energia</p>

Tabela 18. Determinação do ponto de ebulição do etanol (experiência 18)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 – Baixo consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (etanol, F)</p> <p>7 - Risco elevado de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório (banho)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>13 – É necessário aquecer</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (etanol, F)</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de energia</p>

Experiências 19 a 21 – Determinação do ponto de fusão de um sólido Nestas experiências do 10º ano [6], procede-se à determinação do ponto de fusão de sólidos. A determinação do ponto de fusão do enxofre e do naftaleno são efetuadas recorrendo à técnica do capilar, que consiste na utilização de um tubo capilar, um termómetro e um banho de aquecimento. No primeiro caso o banho utilizado é de parafina e no segundo de água. A determinação do ponto de fusão do ácido salicílico é efetuada utilizando equipamento automático. A análise destas atividades conduziu às Tabelas 19 a 21.

Tabela 19. Determinação do ponto de fusão do enxofre (experiência 19)

<p>Pontos Fortes 1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas 2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas 8 – Sem consumo de água como solvente 9 – Sem consumo de água como facilidade 10 - Sem consumo de outros solventes 14 - Custo baixo de reagentes 15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos 3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (enxofre, F) 7 - Risco elevado de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório (banho de parafina) 11 - Não se utilizam materiais renováveis 12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos 13 – É necessário aquecer 16 - Não se utilizam materiais do quotidiano 17 - Sem relação com a química industrial 18 - Sem relação com a química do mundo real 19 - Não se utilizam equipamentos 20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças - Imposição externa de maior segurança (enxofre, F) - Imposição externa para reduzir consumos de energia</p>

Tabela 20. Determinação do ponto de fusão do naftaleno (experiência 20)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (naftaleno, Xn)</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (naftaleno, Xn)</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 – Baixo consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (naftaleno, N)</p> <p>7 - Risco elevado de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório (banho de água)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>13 – É necessário aquecer</p> <p>15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (naftaleno, N)</p> <p>- Verbas limitadas (para remoção de resíduos)</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de energia</p>

Tabela 21. Determinação do ponto de fusão do ácido salicílico (experiência 21)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (ácido salicílico, Xn)</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (ácido salicílico, Xn)</p> <p>5 - Risco baixo de acidente devido à instrumentação</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>20 - Utilização de instrumentação (aparelho de determinação do p.f.)</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>13 – É necessário aquecer</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de energia</p>

Experiências 22 – Preparação de soluções Nesta experiência do 10º ano [6], preparam-se soluções aquosas de tiosulfato de sódio O resultado apresenta-se na Tabela 22.

Tabela 22. Preparação de soluções (experiência 22)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco baixo de acidente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15 - Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>8 – Elevado consumo de água como solvente</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p>

Experiências 23 e 24 – Preparação de coloides. Nestas experiências do 10º ano [6], prepara-se um gel por adição de uma solução saturada de acetato de cálcio a etanol absoluto (experiência 23) e outro por adição de ácido clorídrico concentrado a uma solução diluída de tiosulfato de sódio (experiência 24), tendo a análise conduzido às Tabelas 23 e 24.

Tabela 23. Preparação de um gel por adição de uma solução saturada de acetato de cálcio a etanol absoluto (experiência 23)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (etanol, F)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (etanol, F)</p>

Tabela 24. Preparação de um gel por adição de ácido clorídrico concentrado a uma solução diluída de tiosulfato de sódio (experiência 24)

<p>Pontos Fortes</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>1 - Risco elevado para a saúde devido às substâncias envolvidas (dióxido de enxofre, T, C e ácido clorídrico, C),</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (dióxido de enxofre, T, C; ácido clorídrico, C; enxofre F)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (dióxido de enxofre, T, C; ácido clorídrico, C; enxofre F)</p>

ANEXO V
ANÁLISE SWOT CTSS DO 11º ANO

O instrumento de análise SWOT foi aplicado à totalidade das experiências propostas no programa de química, em vigor, do 11º do Ensino Secundário (Tabela 1). Na Tabela 2 apresenta-se as substâncias envolvidas nas experiências assim como os riscos para a saúde e para o ambiente, inflamabilidade, reatividade, etc. As matrizes SWOT das experiências do 11º ano são apresentados nas Tabelas 3-42.

Tabela 1. Experiências avaliadas do 11º Ano

Experiência	Designação das experiências
1-4	Identificar a presença de amoníaco e de compostos de amónio em materiais de uso comum – Testes A a D
5	Síntese do sulfato de tetraaminocobre(II) monoidratado
6	Efeito da temperatura na progressão global de uma reação
7	Efeito da concentração na progressão global de uma reação por adição de água
8	Efeito da concentração na progressão global de uma reação adição de ácido clorídrico concentrado
9	Efeito da concentração na progressão global de uma reação por adição de cloreto de cobalto(II) hexaidratado
10	Classificação de águas em ácidas, neutras ou alcalinas utilizando como indicador solução alcoólica de fenolftaleína,
11	Classificação de águas em ácidas, neutras ou alcalinas utilizando como indicador, azul de bromofenol
12	Classificação de águas em ácidas, neutras ou alcalinas utilizando como indicador tornesol
13	Classificação de águas em ácidas, neutras ou alcalinas utilizando como indicador carmim de índigo
14	Classificação de águas em ácidas, neutras ou alcalinas utilizando como indicador universal
15	Classificação de águas em ácidas, neutras ou alcalinas utilizando como indicador alaranjado de metilo
16	Classificação de águas em ácidas, neutras ou alcalinas utilizando como indicador vermelho de metilo
17	Classificação de águas em ácidas, neutras ou alcalinas utilizando um medidor de pH eletrónico ou um sensor
18	Apreciação do efeito da temperatura no pH de uma solução
19	Verificar a variação do pH da água quando se faz borbulhar CO ₂
20	Verificar a variação do pH da água quando se faz borbulhar SO ₂
21	Força relativa do ácido clorídrico e concentração das soluções respetivas
22	Força relativa do ácido nítrico e concentração das soluções respetivas
23	Força relativa do ácido acético e concentração das soluções respetivas
24	Titulação ácido forte – base forte utilizando solução alcoólica de fenolftaleína como indicador
25	Titulação ácido forte – base forte utilizando vermelho de metilo como indicador
26	Titulação ácido forte – base forte utilizando um medidor de pH eletrónico ou um sensor
27	Série eletroquímica Cu/Zn(NO ₃) ₂ (aq);
28	Série eletroquímica Al/Zn(NO ₃) ₂ (aq);
29	Série eletroquímica Mg/Zn(NO ₃) ₂ (aq);
30	Série eletroquímica Zn/Cu(NO ₃) ₂ (aq);
31	Série eletroquímica Al/Cu(NO ₃) ₂ (aq);
32	Série eletroquímica Mg/Cu(NO ₃) ₂ (aq);
33	Série eletroquímica Mg/Al(NO ₃) ₃ (aq);
34	Série eletroquímica Cu/Al(NO ₃) ₃ (aq);
35	Série eletroquímica Zn/Al(NO ₃) ₃ (aq);
36	Série eletroquímica Cu/Mg(NO ₃) ₃ (aq);
37	Série eletroquímica Zn/Mg(NO ₃) ₂ (aq);
38	Série eletroquímica; Al/Mg(NO ₃) ₂ (aq)
39	Solubilidade do cloreto de sódio em água
40	Solubilidade do cloreto de cálcio em água
41	Solubilidade do carbonato de cálcio em água
42	Solubilidade do iodo em etanol água
43	Solubilidade do heptano água
44	Solubilidade do hexano água
45	Solubilidade do etanol água
46	Solubilidade do cloreto de sódio em etanol
47	Solubilidade do cloreto de cálcio em etanol
48	Solubilidade do carbonato de cálcio em etanol
49	Solubilidade do iodo em etanol
50	Solubilidade do heptano em etanol
51	Solubilidade do hexano em etanol
52	Solubilidade do cloreto de sódio em hexano
53	Solubilidade do cloreto de cálcio em hexano
54	Solubilidade do carbonato de cálcio em hexano
55	Solubilidade do iodo em hexano
56	Solubilidade do heptano em hexano
57	Influência da temperatura na solubilidade do nitrato de potássio em água
58	Avaliação da dureza de água dura preparada juntando cloreto de cálcio a água destilada
59	Avaliação da dureza de água dura preparada juntando sulfato de magnésio a água destilada
60	Avaliação da dureza de água destilada, usada como água macia
61	Avaliação da dureza de água amaciada com carbonato de sódio (água dura preparada juntando cloreto de cálcio a água destilada)
62	Avaliação da dureza da água amaciada com carbonato de sódio (água dura preparada juntando sulfato de magnésio a água destilada)

Tabela 2. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas do 11º Ano

Reagentes	Atividade	Símbolos
Ácido acético ² (solução - 0,1 mol dm ⁻³)	AL2.2(2B)	-
Acetato de amônio	AL1.1	-
Acetato de sódio (aq)	AL1.1(A, B, D)	-
Ácido clorídrico (solução concentrada)	AL1.1(A); AL1.3	C
Ácido clorídrico (solução - 1 mol dm ⁻³)	AL2.2(1a)	Xi
Ácido clorídrico (solução - 0,1 mol dm ⁻³)	AL2.2(2Aa)	Xi
Ácido nítrico (solução - 0,1 mol dm ⁻³)	AL2.2(2Ab)	Xi
Ácido sulfúrico (solução - 0,05 mol dm ⁻³)	AL2.3	-
Ácido sulfúrico (solução - 2 mol dm ⁻³)	AL2.2(1b)	Xi
Adubo fertilizante de plantas	AL1.1	-
Água ^{1,2}	AL1.3(2a); AL2.1; AL2.2; AL2.3; AL2.5(1.1, 2); AL2.6	-
Alaranjado de metilo	AL2.1(1f)	T
Alumínio em folha	AL2.4(b,e,l)	-
Alumínio em pó	AL2.4(g)	F
Amoníaco (solução a 25%)	AL1.2	C, N
Amoníaco (solução a 5%)	AL1.1	-
Amoníaco (gasoso)	AL1.1	T, N
Azul de bromofenol	AL2.1(1b)	-
Carbonato de cálcio ²	AL2.2(1a); AL2.5(1.1c, 1.2c, 1.3c), AL2.6(2a)	Xi
Carbonato de sódio ^{1,2}	AL2.6(2)	Xi
Carbonato de magnésio	AL2.6(2b)	-
Carmim de índigo	AL2.1(1d)	Xn
Champô ²	AL2.6(1)	-
Cloreto de amônio	AL1.1(A)	Xn
Cloreto de cálcio ²	AL2.2(1a); AL2.5(1.1b, 1.2b, 1.3b), AL2.6(1a, 2a)	Xi
Cloreto de cobalto(II) hexaidratado	AL1.3	T, N
Cloreto de sódio ^{1,2}	AL2.5(1.1a, 1.2a, 1.3a); AL2.6(1a, 2a)	-
Cobre em folha	AL2.4(a, h, j)	-
Cobre em pó	AL2.4(d, e, f)	F
Detergente amoniacal	AL1.1	-
Detergente comercial ²	AL2.6	-
Dióxido de carbono ²	AL2.2(1a)	-
Dióxido de enxofre	AL2.2(1b)	T
Estearato de magnésio ²	AL2.6(1b)	Xi
Estearato de cálcio ²	AL2.6(1a)	Xi
Etanol	AL1.2; AL2.5(1.1f, 1.2)	F
Fenolftaleína (solução alcoólica)	AL2.1(1a); AL2.3(1a)	T
Heptano	AL2.5(1.1e, 1.2e, 1.3e)	Xn, F,N
Hexano	AL2.5(1.1g, 1.2f, 1.3)	Xn, F, N
Hidróxido de sódio (solução 0,1 mol dm ⁻³)	AL1.1(A, B, D); AL2.3	Xi
Indicador universal	AL2.1(1e); AL2.2(1a, b)	F
Iodo	AL2.5(1.1d, 1.2d, 1.3d)	Xn, N
Magnésio, em fita	AL2.4(c, f, g)	F
Nitrato de alumínio	AL2.4(b, e, g, h, i)	Xi, O
Nitrato de cobre	AL2.4(d, e, f)	C, O
Nitrato de magnésio	AL2.4(c, f, g, j, k, l)	Xi, O
Nitrato de potássio	AL2.5(2)	O
Nitrato de zinco	AL2.4(a, b, c, d)	Xn, O
Papel vermelho de tornesol	AL1.1(B)	-
Reagente de Nessler	AL1.1(C)	T ⁺ , N
Sabão para lavagem manual ²	AL2.6	-
Solução tampão calibração pH=10 (Hanna)	AL2.1(2, 3), AL2.2, AL2.3(2)	-
Solução tampão calibração pH=4 (Hanna)	AL2.1(2, 3), AL2.2, AL2.3(2)	-
Solução tampão calibração pH=7 (Hanna)	AL2.1(2, 3), AL2.2, AL2.3(2)	-
Sulfato de cobre pentaidratado	AL1.1(D), AL1.2	Xn, N
Sulfato de magnésio	AL2.6(1b, 2b)	-
Sulfato de sódio	AL2.2(1b), AL2.3	-
Sulfato de tetraaminocobre(II)	AL1.1(D), AL1.2	Xi
Sulfito de sódio	AL2.2(1b)	-
Tornesol	AL2.1(1c)	Xn
Vermelho de metilo	AL2.1(1g); AL2.3(1b)	N
Zinco em folha	AL2.4(d, i, k)	-
Zinco em pó	AL2.4(b, c)	N

Experiências 1 a 4 – Amoníaco e compostos de amónio em materiais de uso comum.

Nestas experiências do 11º ano [6] identifica-se a presença de amoníaco e de compostos de amónio em materiais do quotidiano, através de vários testes químicos específicos (teste A a D). No teste A efetua-se a identificação pela formação de cloreto de amónio sólido na reação com cloreto de hidrogénio (experiência 1). No teste B efetua-se a identificação pelo carácter alcalino de uma solução de amoníaco em água (experiência 2). No teste C efetua-se a identificação por reação com o reagente de Nessler (experiência 3). No teste D efetua-se a identificação pela formação do ião complexo tetraminocobre(II), de cor azul intensa (experiência 4). O resultado apresenta-se na Tabela 3.

Tabela 3. Identificar amoníaco e compostos de amónio em materiais de uso comum (experiência 1 a 4)

Pontos Fortes 7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório 8 – Baixo consumo de água como solvente 9 – Sem consumo de água como facilidade 10 - Sem consumo de outros solventes 13 – Sem consumo energético 16 – Utilizam-se materiais do quotidiano para além da água	Pontos Fracos 1 - Risco elevado para a saúde devido às substâncias envolvidas (Amoníaco (g), T; reagente de Nessler, T ⁺) 2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (Amoníaco (g), N; reagente de Nessler, T ⁺) 3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (Amoníaco (g), T; reagente de Nessler, T ⁺) 11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água 12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água 14 - Custo elevado de reagentes (reagente de Nessler) 15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos 17 - Sem relação com a química industrial 18 - Sem relação com a química do mundo real 19 - Não se utilizam equipamentos 20 - Não se utiliza instrumentação
Oportunidades	Ameaças - Imposição externa de maior segurança (Amoníaco (g), T, N; reagente de Nessler, T ⁺ , N) - Ausência de hottes suficientes nas escolas - Verbas limitadas (para remoção de resíduos)

Experiência 5 – Síntese do sulfato de tetraaminacobre(II) monoidratado. Nesta experiência do 11º ano [6] procede-se à síntese de sulfato de tetraaminacobre(II) monoidratado a partir da reação química entre soluções aquosas de amoníaco (soluções a 25%) e de sulfato de cobre pentaidratado, usando etanol como solvente. O resultado apresenta-se na Tabela 4.

Tabela 4. Síntese do sulfato de tetraaminocobre(II) monoidratado (experiência 5)

<p>Pontos Fortes</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>10 - Baixo consumo de outros solventes (etanol)</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>17 - Relação com a química industrial</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>1 - Risco elevado para a saúde devido às substâncias envolvidas (amoníaco (solução a 25%), C)</p> <p>2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (amoníaco, N; sulfato de cobre(II))</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (amoníaco, C; etanol, F)</p> <p>9 – Com elevado de água como facilidade (trompa de água)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>13 – É necessário arrefecer (banho de gelo para cristalização)</p> <p>15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>16 – Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p> <p>- Pode ser realizada à microescala</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (amoníaco, C, N; sulfato de cobre(II), N; etanol, F)</p> <p>- Ausência de hottes suficientes nas escolas</p> <p>- Verbas limitadas (para remoção de resíduos)</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de energia</p>

Experiência 6 a 9 - Atividade envolvendo o cloreto de cobalto. Nestas experiências do 11º ano [6] estuda-se os efeitos da variação da temperatura e das concentrações das diversas espécies químicas no equilíbrio homogêneo, em fase líquida, representado pela equação química: $[\text{CoCl}_4]^{2-}(\text{aq}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}(\text{aq}) + 4 \text{Cl}^-$

Na experiência 6 procede-se ao aquecimento em banho de água e arrefecimento em banho de gelo para estudar o efeito da variação da temperatura no equilíbrio. Nas experiências de 7 a 9, procede-se à adição de água, ácido clorídrico concentrado e cloreto de cobalto(II) hexaidratado, respetivamente, para estudar o efeito da variação da concentração no equilíbrio. Os resultados apresentam-se nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5. Efeito da variação da temperatura na progressão global de uma reação (experiência 6)

<p>Pontos Fortes 8 – Baixo consumo de água como solvente 9 – Sem consumo de água como facilidade 10 - Sem consumo de outros solventes</p>	<p>Pontos Fracos 1 - Risco elevado para a saúde devido às substâncias envolvidas (cloreto de cobalto(II), T; ácido clorídrico concentrado, C) 2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (cloreto de cobalto(II), N) 3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (cloreto de cobalto(II), T; ácido clorídrico concentrado, C) 7 - Risco elevado de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório (banho) 11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água 12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água 13 – É necessário aquecer / arrefecer (banho) 14 - Custo elevado de reagentes (cloreto de cobalto (II) hexaidratado) 15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos 16 – Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água 17 - Sem relação com a química industrial 18 - Sem relação com a química do mundo real 19 - Não se utilizam equipamentos 20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças - Imposição externa de maior segurança (cloreto de cobalto(II), T, N; ácido clorídrico concentrado, C) - Ausência de hottes suficientes - Verbas limitadas (para remoção de resíduos) - Imposição externa para reduzir consumos de energia</p>

Tabela 6. Efeito da variação da concentração na progressão global de uma reação (experiência 7 a 9)

<p>Pontos Fortes</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>1 - Risco elevado para a saúde devido às substâncias envolvidas (cloreto de cobalto(II), T; ácido clorídrico concentrado, C)</p> <p>2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (cloreto de cobalto(II), N)</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (cloreto de cobalto(II), T; ácido clorídrico concentrado, C)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>14 - Custo elevado de reagentes (cloreto de cobalto (II) hexaidratado)</p> <p>15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>16 – Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (cloreto de cobalto(II), T, N; ácido clorídrico concentrado, C)</p> <p>- Ausência de hottes suficientes</p> <p>- Verbas limitadas (para remoção de resíduos)</p>

Experiências 10 a 16 – Classificação de águas e de outras soluções aquosas em ácidas, neutras ou alcalinas. Nestas experiências do 11º ano [6] procede-se à classificação de águas e outras soluções aquosas em ácidas, neutras ou alcalinas utilizando processos de avaliação qualitativa com recurso a indicadores (em solução ou impregnados em papel). Os resultados apresentam-se nas Tabelas 7 a 12.

Tabela 7. Classificação de águas utilizando o indicador solução alcoólica de fenolftaleína (experiência 10)

<p>Pontos Fortes</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>1 - Risco elevado para a saúde devido às substâncias envolvidas (fenolftaleína, T)</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (fenolftaleína, T)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (fenolftaleína, T)</p>

Tabela 8. Classificação de águas utilizando o indicador azul de bromofenol (experiência 11)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco baixo de acidente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>14 - Custo elevado de reagentes (azul de bromofenol)</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p>

Tabela 9. Classificação de águas utilizando o indicador tornesol (experiência 12) e utilizando o indicador carmim de índigo (experiência 13)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (tornesol, Xn; carmim de índigo, Xn)</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (tornesol, Xn; carmim de índigo, Xn)</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>14 - Custo elevado de reagentes (tornesol e carmim de índigo)</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p>

Tabela 10. Classificação de águas utilizando o indicador universal (experiência 14)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (indicador universal, F)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (indicador universal, F)</p>

Tabela 11. Classificação de águas utilizando o indicador alaranjado de metilo (experiência 15)

<p>Pontos Fortes</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>1 - Risco elevado para a saúde devido às substâncias envolvidas (alaranjado de metilo, T)</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (alaranjado de metilo, T)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>14 - Custo elevado de reagentes (alaranjado de metilo)</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (alaranjado de metilo, T)</p>

Tabela 12. Classificação de águas utilizando o vermelho de metilo (experiência 16)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco baixo de acidente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (vermelho de metilo, N)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>14 - Custo elevado de reagentes (vermelho de metilo)</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (vermelho de metilo, N)</p>

Experiências 17 e 18 – Medição do pH de uma solução. Nestas experiências do 11º ano [6] procede-se à leitura do valor de pH de tipos diferentes de águas, utilizando um medidor de pH eletrónico ou um sensor (experiência 17) e procede-se à leitura do valor de pH de tipos diferentes de águas, utilizando um medidor de pH eletrónico ou um sensor, às temperaturas ambiente e de 60°C (experiência 18). Os resultados apresentam-se nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13. Classificação de águas utilizando o medidor ou sensor de pH (experiência 17)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco baixo de acidente devido às substâncias envolvidas</p> <p>5 - Risco baixo de acidente devido à instrumentação</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>20 - Utiliza instrumentação (medidor de pH)</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p>

Tabela 14. Apreciação do efeito da temperatura no pH de uma solução (experiência 18)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco baixo de acidente devido às substâncias envolvidas</p> <p>5 - Risco baixo de acidente devido à instrumentação</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>20 - Utiliza instrumentação (medidor de pH)</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>13 – É necessário aquecer</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de energia</p>

Experiências 19 a 20 – Chuva “normal” e chuva ácida. Nestas experiências do 11º ano [6] verifica-se a variação do pH da solução quando se faz borbulhar CO₂ ou SO₂ em água, utilizando indicador universal ácido-base. O CO₂ é produzido através da reacção entre ácido clorídrico 1 mol dm⁻³ e carbonato de cálcio (experiência 19) e o SO₂ é produzido através da pela reacção entre sulfito de sódio e ácido sulfúrico 2 mol dm⁻³ (experiência 20). Os resultados apresentam-se nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15. Variação do pH da água quando se faz borbulhar CO₂ (experiência 19)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (ácido clorídrico 1 mol dm⁻³, Xi; carbonato de cálcio, Xi; cloreto de cálcio, Xi)</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>12 - Utiliza materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água (carbonato de cálcio, cloreto de cálcio)</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (indicador universal, F)</p> <p>8 – Elevado consumo de água como solvente/reagente</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (indicador universal, F)</p>

Tabela 16. Variação do pH da água quando se faz borbulhar SO₂ (experiência 20)

<p>Pontos Fortes</p> <p>2 – Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>1 - Risco elevado para a saúde devido às substâncias envolvidas (dióxido de enxofre, T)</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (dióxido de enxofre, T; indicador universal, F)</p> <p>8 – Elevado consumo de água como solvente/reagente</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 – Não utiliza materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (dióxido de enxofre, T; indicador universal, F)</p> <p>- Ausência de hottes suficientes</p>

Experiência 21 a 23 – Força relativa de ácidos e concentração das soluções respectivas.

Nestas experiências do 11º ano [6] procede-se à adição de vários volumes de um ácido (ácido clorídrico $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$, ácido nítrico $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ e ácido acético $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$, respetivamente) a vários tipos de água e mede-se o respetivo pH, utilizando um medidor de pH. Os resultados apresentam-se nas Tabelas 17 e 18.

Tabela 17. Força relativa do ácido clorídrico e do ácido nítrico e concentração das soluções respectivas (experiência 21 e 22)

Pontos Fortes 1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (ácido clorídrico $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$, Xi; ácido nítrico $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$, Xi) 2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas 3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (ácido clorídrico $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$, Xi; ácido nítrico $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$, Xi) 5 - Risco baixo de acidente devido à instrumentação 7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório 9 – Sem consumo de água como facilidade 10 - Sem consumo de outros solventes 13 – Sem consumo energético 14 - Custo baixo de reagentes 15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos 20 - Utiliza instrumentação (medidor de pH)	Pontos Fracos 8 – Baixo consumo de água como solvente / reagente 11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água 12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água 16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água 17 - Sem relação com a química industrial 18 - Sem relação com a química do mundo real 19 - Não se utilizam equipamentos
Oportunidades	Ameaças

Tabela 18. Força relativa do ácido acético e concentração da solução respetiva (experiência 23)

Pontos Fortes 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 5 - Risco baixo de acidente devido à instrumentação 7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório 9 – Sem consumo de água como facilidade 10 - Sem consumo de outros solventes 12 – Utilização de materiais degradáveis a produtos inócuos (ácido acético) 13 – Sem consumo energético 14 - Custo baixo de reagentes 15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos 20 - Utiliza instrumentação (medidor de pH)	Pontos Fracos 8 – Baixo consumo de água como solvente / reagente 11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água 16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água 17 - Sem relação com a química industrial 18 - Sem relação com a química do mundo real 19 - Não se utilizam equipamentos
Oportunidades	Ameaças

Experiências 24 a 26 - Atividade envolvendo uma reação ácido base. Nestas experiências do 11º ano [6] procede-se à titulação de ácido forte-base forte utilizando ácido sulfúrico $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ com uma solução de hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ e um indicador (fenolftaleína – experiências 24 e vermelho de metilo – experiência 25) ou um medidor de pH (experiência 26). Os resultados apresentam-se nas Tabelas 19 a 21.

Tabela 19. Titulação ácido sulfúrico $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ – hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ utilizando o indicador solução alcoólica de fenolftaleína (experiência 24)

<p>Pontos Fortes 2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas 7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório 9 – Sem consumo de água como facilidade 10 - Sem consumo de outros solventes 13 – Sem consumo energético 14 - Custo baixo de reagentes 15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos 1 - Risco elevado para a saúde devido às substâncias envolvidas (fenolftaleína, T) 3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (fenolftaleína, T) 8 – Elevado consumo de água como solvente 11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água 12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água 16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água 17 - Sem relação com a química industrial 18 - Sem relação com a química do mundo real 19 - Não se utilizam equipamentos 20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças - Imposição externa de maior segurança (fenolftaleína, T)</p>

Tabela 20. Titulação ácido sulfúrico $0,05 \text{ mol dm}^{-3}$ – hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol dm}^{-3}$ utilizando o indicador vermelho de metilo (experiência 25)

<p>Pontos Fortes 1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (hidróxido de sódio, Xi) 3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (hidróxido de sódio, Xi) 7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório 9 – Sem consumo de água como facilidade 10 - Sem consumo de outros solventes 13 – Sem consumo energético 15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos 2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (vermelho de metilo, N) 8 – Elevado consumo de água como solvente 11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água 12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água 14 - Custo elevado de reagentes (vermelho de metilo $0,19\text{€}/\text{mL}$) 16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água 17 - Sem relação com a química industrial 18 - Sem relação com a química do mundo real 19 - Não se utilizam equipamentos 20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças - Imposição externa de maior segurança (vermelho de metilo, N)</p>

Tabela 21. Titulação ácido sulfúrico 0,05 mol dm⁻³ – hidróxido de sódio 0,1 mol dm⁻³ utilizando um medidor de pH (experiência 26)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (hidróxido de sódio, Xi)</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (hidróxido de sódio, Xi)</p> <p>5 - Risco baixo de acidente devido à instrumentação</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>20 - Utiliza instrumentação (medidor de pH)</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p>

Experiências 27 a 38 – Série eletroquímica: o caso dos metais. Nestas experiências do 11º ano [6] procede-se ao contacto de metais (cobre, zinco, alumínio e magnésio) com soluções aquosas de nitratos contendo os cátions dos outros metais e verifica-se se há ocorrência de reação química. Os resultados apresentam-se nas Tabelas 22 a 24.

Tabela 22. Série eletroquímica (Experiências 27 e 33 a 38)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (nitrato de zinco, Xn; nitrato de alumínio e magnésio, Xi)</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (nitratos dos metais, O)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>14 - Elevado custo de reagentes (cobre, zinco, magnésio e alumínio)</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (nitratos dos metais, O)</p>

Tabela 23. Série eletroquímica (Experiências 28 e 29)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (nitrato de zinco, Xn; nitrato de alumínio e magnésio, Xi)</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (zinco, N)</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (nitratos dos metais, O)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>14 - Elevado custo de reagentes (alumínio e magnésio)</p> <p>15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (nitratos dos metais, O; zinco, N)</p> <p>- Verbas limitadas (para remoção de resíduos)</p>

Tabela 24. Série eletroquímica (experiências 30 a 32)

<p>Pontos Fortes</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>1 - Risco elevado para a saúde devido às substâncias envolvidas (nitrato de cobre, C, O)</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (nitratos dos metais, O; cobre em pó, F)</p> <p>11 - Não se utilizam materiais renováveis</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>14 - Elevado custo de reagentes (zinco, alumínio e magnésio)</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do cotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (nitratos dos metais, O)</p>

Experiências 39 a 56 – Solubilidade de diferentes sais em diferentes solventes. Nestas experiências do 11º ano [6] avalia-se a solubilidade de um determinado soluto num solvente. Os resultados apresentam-se nas Tabelas 25 a 35.

Tabela 25. Solubilidade do cloreto de sódio em água (experiência 39)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco baixo de acidente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente (5mL)</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>11 – Utiliza materiais renováveis (cloreto de sódio e água)</p> <p>12 - Utiliza materiais degradáveis a produtos inócuos (cloreto de sódio e água)</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p>

Tabela 26 - Solubilidade do cloreto e carbonato de cálcio em água (experiências 40 e 41)

Pontos Fortes 1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (cloreto e carbonato de cálcio, Xi) 2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas 3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (cloreto e carbonato de cálcio, Xi) 7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório 8 – Baixo consumo de água como solvente (5mL) 9 – Sem consumo de água como facilidade 10 - Sem consumo de outros solventes 12 - Utiliza materiais degradáveis a produtos inócuos (cloreto e carbonato de cálcio) 13 – Sem consumo energético 14 - Custo baixo de reagentes 15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos	Pontos Fracos 11 – Não se utilizam materiais renováveis para além da água 16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água 17 - Sem relação com a química industrial 18 - Sem relação com a química do mundo real 19 - Não se utilizam equipamentos 20 - Não se utiliza instrumentação
Oportunidades	Ameaças

Tabela 27. Solubilidade do iodo em água (experiência 42)

Pontos Fortes 1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (iodo, Xn) 3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (iodo, Xn) 7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório 8 – Baixo consumo de água como solvente (5mL) 9 – Sem consumo de água como facilidade 10 - Sem consumo de outros solventes 13 – Sem consumo energético 14 - Custo baixo de reagentes	Pontos Fracos 2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (iodo, N) 11 – Não se utilizam materiais renováveis para além da água 12 – Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água 15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos (iodo, N) 16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água 17 - Sem relação com a química industrial 18 - Sem relação com a química do mundo real 19 - Não se utilizam equipamentos 20 - Não se utiliza instrumentação
Oportunidades	Ameaças - Imposição externa de maior segurança (iodo, N) - Verbas limitadas (para remoção de resíduos)

Tabela 28. Solubilidade do heptano e do hexano em água (experiências 43 e 45)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (heptano e hexano, Xn)</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente (5mL)</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (heptano e hexano, N)</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (heptano e hexano, F)</p> <p>11 – Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 – Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos (heptano e hexano, N)</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (heptano e hexano, N, F)</p> <p>- Verbas limitadas (para remoção de resíduos)</p>

Tabela 29. Solubilidade do etanol em água (experiência 44)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente (5mL)</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (etanol, F)</p> <p>11 – Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (etanol, F)</p>

Tabela 30. Solubilidade do cloreto de sódio em etanol (experiência 46)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Baixo consumo de outros solventes (etanol-5mL)</p> <p>11 – Utiliza materiais renováveis (cloreto de sódio) 12 - Utiliza materiais degradáveis a produtos inócuos (cloreto de sódio)</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (etanol, F)</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do cotidiano</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (etanol, F)</p>

Tabela 31. Solubilidade do cloreto e carbonato de cálcio em etanol (experiências 47 e 48)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (cloreto e carbonato de cálcio, Xi)</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Baixo consumo de outros solventes (etanol-5mL)</p> <p>12 - Utiliza materiais degradáveis a produtos inócuos (cloreto e carbonato de cálcio)</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (etanol, F)</p> <p>11 – Não se utiliza materiais renováveis</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do cotidiano</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (etanol, F)</p>

Tabela 32. Solubilidade de diversos sais (iodo, heptano e hexano) em etanol (experiências 49 a 51)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (iodo, heptano e hexano, Xn)</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Baixo consumo de outros solventes (etanol-5mL)</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (iodo, heptano e hexano, N)</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (etanol, heptano e hexano, F)</p> <p>11 – Não se utiliza materiais renováveis</p> <p>12 - Não se utiliza materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos (iodo, heptano e hexano, N)</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do cotidiano</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (iodo, N; heptano, N, F; hexano, N, F; etanol, F)</p> <p>- Verbas limitadas (para remoção de resíduos)</p>

Tabela 33. Solubilidade do cloreto de sódio em hexano (experiência 52)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (hexano -Xn)</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Baixo consumo de outros solventes (hexano-5mL)</p> <p>11 – Utiliza materiais renováveis (cloreto de sódio)</p> <p>12 – Utiliza materiais degradáveis a produtos inócuos (cloreto de sódio)</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (hexano, N)</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (hexano, F)</p> <p>15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos (hexano, N)</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do cotidiano</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (hexano, N, F)</p> <p>- Verbas limitadas (para remoção de resíduos)</p>

Tabela 34. Solubilidade cloreto e carbonato de cálcio em hexano (experiências 53 e 54)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (hexano, Xn)</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Baixo consumo de outros solventes (hexano-5mL)</p> <p>12 – Utilizam-se materiais degradáveis a produtos inócuos (cloreto e carbonato de cálcio)</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (hexano, N)</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (hexano, F)</p> <p>11 – Não se utilizam materiais renováveis</p> <p>15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos (hexano, N)</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do cotidiano</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (hexano, N, F)</p> <p>- Verbas limitadas (para remoção de resíduos)</p>

Tabela 35. Solubilidade do iodo e do heptano em hexano (experiências 55 e 56)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (iodo, heptano e hexano, Xn)</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Sem consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Baixo consumo de outros solventes (hexano-5mL)</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>2 - Risco elevado para o ambiente devido às substâncias envolvidas (iodo, heptano e hexano, N)</p> <p>3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (heptano e hexano, F)</p> <p>11 – Não se utilizam materiais renováveis</p> <p>12 – Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>15- Custos de tratamento ou remoção de resíduos (iodo, heptano e hexano -N)</p> <p>16 - Não se utilizam materiais do cotidiano para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>18 - Sem relação com a química do mundo real</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa de maior segurança (iodo, N; heptano, N, F; hexano, N, F)</p> <p>- Verbas limitadas (para remoção de resíduos)</p>

Experiência 57 – Influência da temperatura na solubilidade de um soluto num solvente.

Nesta experiência do 11º ano [6] avalia-se a solubilidade do nitrato de potássio em água, em função da temperatura. O resultado apresenta-se na Tabela 36.

Tabela 36. Influência da temperatura a solubilidade de um soluto num solvente (experiência 57)

Pontos Fortes 1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas 2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas 7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório 9 – Sem consumo de água como facilidade 10 - Sem consumo de outros solventes 14 - Custo baixo de reagentes 15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos	Pontos Fracos 3 - Risco elevado de acidente devido às substâncias envolvidas (nitrato de potássio, O) 8 – Elevado consumo de água como solvente 11 – Não se utilizam materiais renováveis para além da água 12 - Não se utilizam materiais degradáveis a produtos inócuos para além da água 13 – É necessário aquecer 16 - Não se utilizam materiais do quotidiano para além da água 17 - Sem relação com a química industrial 18 - Sem relação com a química do mundo real 19 - Não se utilizam equipamentos 20 - Não se utiliza instrumentação
Oportunidades	Ameaças - Imposição externa de maior segurança (nitrato de potássio, O) - Imposição externa para reduzir consumos de energia

Experiências 58 a 60 – Avaliação da dureza da água. Nesta experiência do 11º ano [6] avalia-se a dureza da água através da espuma e escuma formadas, quando se adiciona detergente, sabão e champô a diferentes tipos de água (águas endurecidas preparadas juntando cloreto de cálcio ou sulfato de magnésio a água destilada e água destilada). Os resultados apresentam-se nas Tabelas 37 a 39.

Tabela 37. Dureza da água dura preparada juntando cloreto de cálcio a água destilada (experiência 58)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (cloreto de cálcio e estereato de cálcio, Xi)</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (cloreto de cálcio e estereato de cálcio, Xi)</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>12 – Utilizam-se materiais degradáveis a produtos inócuos (todos)</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>16 – Utilizam-se materiais do quotidiano para além da água (sabão, champô, detergente)</p> <p>18 - Relação com a química do mundo real</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>11 – Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p>

Tabela 38. Dureza da água dura preparada juntando sulfato de magnésio a água destilada (experiência 59)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (estereato de magnésio, Xi)</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (estereato de magnésio, Xi)</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente (30mL)</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>12 – Utilizam-se materiais degradáveis a produtos inócuos (champô, cloreto de cálcio, detergente, sabão, estereato de magnésio)</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>16 – Utilizam-se materiais do quotidiano para além da água (sabão, champô, detergente)</p> <p>18 - Relação com a química do mundo real</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>11 – Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p>

Tabela 39. Dureza da água destilada usada como água macia (Experiência 60)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco baixo para a saúde devido às substâncias envolvidas</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco baixo de acidente devido às substâncias envolvidas</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>8 – Baixo consumo de água como solvente (30mL)</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>12 – Utilizam-se materiais degradáveis a produtos inócuos</p> <p>13 – Sem consumo energético</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>16 – Utilizam-se materiais do quotidiano para além da água (sabão, champô, detergente)</p> <p>18 - Relação com a química do mundo real</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>11 – Não se utilizam materiais renováveis para além da água</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p>

Experiências 61 a 62 – Avaliação da dureza da água amaciada. Nesta experiência do 11º ano [6] adiciona-se carbonato de sódio à água dura, diminuindo a concentração de íons Ca^{2+} ou Mg^{2+} por precipitação na forma de carbonatos, e avalia-se a dureza da água através da espuma e escuma formadas, quando se adiciona detergente, sabão e champô a diferentes tipos de água (águas endurecidas preparadas juntando cloreto de cálcio ou sulfato de magnésio a água destilada). Os resultados apresentam-se nas Tabelas 40 e 41.

Tabela 40. Avaliação da dureza da água amaciada com carbonato de sódio (água dura preparada juntando cloreto de cálcio) (experiência 61)

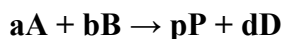
<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (carbonato de sódio, cloreto de cálcio)</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (carbonato de sódio, cloreto de cálcio)</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>11 – Utilizam-se materiais renováveis para além da água (carbonato de sódio)</p> <p>12 – Utilizam-se materiais degradáveis a produtos inócuos (carbonato de sódio e cloreto de cálcio)</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>16 – Utilizam-se materiais do quotidiano para além da água (sabão, champô, detergente)</p> <p>18 - Relação com a química do mundo real</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>8 – Elevado consumo de água como solvente</p> <p>13 – É necessário aquecer</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de energia</p>

Tabela 41. Avaliação da dureza da água amaciada com carbonato de sódio (água dura preparada juntando sulfato de magnésio a água destilada) (experiência 62)

<p>Pontos Fortes</p> <p>1 - Risco moderado para a saúde devido às substâncias envolvidas (carbonato de sódio, Xi)</p> <p>2 - Risco baixo para o ambiente devido às substâncias envolvidas</p> <p>3 - Risco moderado de acidente devido às substâncias envolvidas (carbonato de sódio, Xi)</p> <p>7 - Risco baixo de acidente devido a outros materiais vulgares de laboratório</p> <p>9 – Sem consumo de água como facilidade</p> <p>10 - Sem consumo de outros solventes</p> <p>11 – Utilizam-se materiais renováveis para além da água (carbonato de sódio)</p> <p>12 – Utilizam-se materiais degradáveis a produtos inócuos (carbonato de sódio)</p> <p>14 - Custo baixo de reagentes</p> <p>15- Sem custos de tratamento ou remoção de resíduos</p> <p>16 – Utilizam-se materiais do quotidiano para além da água (sabão, champô, detergente)</p> <p>18 - Relação com a química do mundo real</p>	<p>Pontos Fracos</p> <p>8 – Elevado consumo de água como solvente</p> <p>13 – É necessário aquecer</p> <p>17 - Sem relação com a química industrial</p> <p>19 - Não se utilizam equipamentos</p> <p>20 - Não se utiliza instrumentação</p>
<p>Oportunidades</p>	<p>Ameaças</p> <p>- Imposição externa para reduzir consumos de energia</p>

ANEXO VI
DEDUÇÃO DAS MÉTRICAS

Considerando as reações



Fator ambiental (Fator E)

$$\text{Fator E} = \frac{m_w}{m_p} \quad (1)$$

$$m_w = m_A + m_B + m_{aux} + m_s - m_p \quad (2)$$

$$m_w = m_A + m_B + m_C + m_{aux} + m_s - m_p \quad (3)$$

$$\text{Fator E} = \frac{m_A}{m_p} + \frac{m_B}{m_p} + \frac{m_{aux}}{m_p} + \frac{m_s}{m_p} - 1 \quad (4)$$

$$\text{Fator E} = \frac{m_A}{m_p} + \frac{m_B}{m_p} + \frac{m_C}{m_p} + \frac{m_{aux}}{m_p} + \frac{m_s}{m_p} - 1 \quad (5)$$

$$\text{Fator E} = \frac{m_A + m_B + m_{aux} + m_s}{m_p} - 1 \quad (6)$$

$$\text{Fator E} = \frac{m_A + m_B + m_C + m_{aux} + m_s}{m_p} - 1 \quad (7)$$

Intensidade de Massa (MI)

$$MI = \frac{m_A + m_B + m_{aux} + m_s}{m_p} \quad (8)$$

$$MI = \frac{m_A + m_B + m_C + m_{aux} + m_s}{m_p} \quad (9)$$

$$MI = \frac{m_A}{m_p} + \frac{m_B}{m_p} + \frac{m_C}{m_p} + \frac{m_{aux}}{m_p} + \frac{m_s}{m_p} \quad (10)$$

$$MI = \text{Fator E} + 1 \quad (11)$$

$$\eta = 100 \frac{n_p}{n'_p} \quad (12)$$

como

$$n'_p = \frac{p}{a} n_A \quad (13)$$

$$\eta = 100 \left(\frac{n_p}{n_A} \right) \left(\frac{a}{p} \right) \quad (14)$$

$$n_p = \frac{m_p}{MW_p} \quad (15)$$

$$n_A = \frac{m_A}{MW_A} \quad (16)$$

então

$$\frac{n_p}{n_A} = \left(\frac{m_p}{MW_p} \right) \left(\frac{MW_A}{m_A} \right) \quad (17)$$

substituindo n_p/n_A na expressão 17

$$\eta = 100 \left(\frac{m_p}{MW_p} \right) \left(\frac{MW_A}{m_A} \right) \left(\frac{a}{p} \right) \quad (18)$$

logo

$$= \left(\frac{100}{\eta}\right) \left(\frac{MW_A}{MW_P}\right) \left(\frac{a}{p}\right) \quad (19)$$

$$m_A = m_P \frac{MW_A}{MW_P} \left(\frac{a}{p}\right) \left(\frac{100}{\eta}\right) \quad (20)$$

Como

$$\frac{n_B}{n'_B} = \frac{n_B}{n_A \frac{a}{b}} = \frac{n_B}{n_A} \frac{a}{b} \quad (21)$$

$$\frac{n_C}{n'_C} = \frac{n_C}{n_A \frac{c}{a}} = \frac{n_C}{n_A} \frac{a}{c} \quad (22)$$

e

$$n_B = \frac{m_B}{MW_B} \quad (23)$$

$$n'_B = \frac{m'_B}{MW_B} \quad (24)$$

$$n_C = \frac{m_C}{MW_C} \quad (25)$$

$$n'_C = \frac{m'_C}{MW_C} \quad (26)$$

$$n_A = \frac{m_A}{MW_A} \quad (27)$$

resulta

$$\frac{n_B}{n'_B} = \frac{\frac{m_B}{MW_B}}{\frac{m'_B}{MW_B}} = \frac{n_B}{n'_B} = \frac{\frac{m_B}{MW_B} \frac{a}{b}}{\frac{m'_B}{MW_B} \frac{a}{b}} = \frac{m_B}{m'_B} \frac{a}{b} = \frac{m_B}{m'_B} \frac{a}{b} \quad (28)$$

$$\frac{m_B}{m'_B} = \left(\frac{m_B}{m'_B}\right) \left(\frac{MW_A}{MW_B}\right) \left(\frac{a}{b}\right) \quad (29)$$

$$= \left(\frac{m_C}{m'_C}\right) \left(\frac{MW_C}{MW_A}\right) \left(\frac{c}{a}\right) \quad (30)$$

$$m_B = m_A \left(\frac{m_B}{m'_B}\right) \left(\frac{MW_B}{MW_A}\right) \left(\frac{b}{a}\right) \quad (31)$$

$$m_C = m_A \left(\frac{m_C}{m'_C}\right) \left(\frac{MW_C}{MW_A}\right) \left(\frac{c}{a}\right) \quad (32)$$

Substituindo m_A (expressão 20) nas expressões 31 e 32

$$m_B = m_P \frac{MW_A}{MW_P} \left(\frac{a}{p}\right) \left(\frac{100}{\eta}\right) \left(\frac{m_B}{m'_B}\right) \left(\frac{MW_B}{MW_A}\right) \left(\frac{b}{a}\right) \quad (33)$$

$$m_C = m_P \frac{MW_A}{MW_P} \left(\frac{a}{p}\right) \left(\frac{100}{\eta}\right) \left(\frac{m_C}{m'_C}\right) \left(\frac{MW_C}{MW_A}\right) \left(\frac{c}{a}\right) \quad (34)$$

$$\frac{m_B}{m_P} = \frac{MW_B}{MW_P} \left(\frac{a}{p}\right) \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{100}{\eta}\right) \left(\frac{m_B}{m'_B}\right) \quad (35)$$

$$\frac{m_C}{m_P} = \frac{MW_C}{MW_P} \left(\frac{a}{p}\right) \left(\frac{c}{a}\right) \left(\frac{100}{\eta}\right) \left(\frac{m_C}{m'_C}\right) \quad (36)$$

Da expressão (14)

$$n_P = \left(\frac{n_A}{100}\right) \left(\frac{p}{a}\right) \eta \quad (37)$$

e como

$$n_P = \frac{m_P}{MW_P} \quad (38)$$

$$n_A = \frac{m_A}{MW_A} \quad (39)$$

a expressão 20 pode ser escrita como

$$\frac{m_P}{MW_P} = \left(\frac{m_A}{MW_A}\right) \left(\frac{p}{a}\right) \left(\frac{\eta}{100}\right) \quad (40)$$

logo

$$m_P = m_A \left(\frac{MW_P}{MW_A}\right) \left(\frac{p}{a}\right) \left(\frac{\eta}{100}\right) \quad (41)$$

Substituindo m_P (expressão 41) em $\frac{m_{aux}}{m_P}$ e $\frac{m_s}{m_P}$

$$\frac{m_{aux}}{m_P} = \left(\frac{MW_A}{MW_P}\right) \left(\frac{100}{\eta}\right) \left(\frac{a}{p}\right) \left(\frac{m_{aux}}{m_A}\right) \quad (43)$$

$$\frac{m_s}{m_P} = \left(\frac{MW_A}{MW_P}\right) \left(\frac{100}{\eta}\right) \left(\frac{a}{p}\right) \left(\frac{m_s}{m_A}\right) \quad (44)$$

Substituindo $\frac{m_A}{m_P}$ (expressão 19), $\frac{m_B}{m_P}$ (expressão 35), $\frac{m_C}{m_P}$ (expressão 36), $\frac{m_{aux}}{m_P}$ (expressão 43), e

$\frac{m_s}{m_P}$ (expressão 44) nas expressões 8 e 10

$$MI = \left(\frac{MW_A}{MW_P}\right) \left(\frac{a}{p}\right) \left(\frac{100}{\eta}\right) + \left(\frac{MW_B}{MW_P}\right) \left(\frac{a}{p}\right) \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{100}{\eta}\right) \left(\frac{m_B}{m'_B}\right) + \left(\frac{MW_A}{MW_P}\right) \left(\frac{a}{p}\right) \left(\frac{100}{\eta}\right) \left(\frac{m_{aux}}{m_A}\right) + \left(\frac{MW_A}{MW_P}\right) \left(\frac{a}{p}\right) \left(\frac{100}{\eta}\right) \left(\frac{m_s}{m_A}\right) \quad (45)$$

$$MI = \left(\frac{a}{p}\right) \left(\frac{1}{MW_P}\right) \left(\frac{100}{\eta}\right) [MW_A + MW_B \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{m_B}{m'_B}\right) + MW_A \left(\frac{m_{aux} + m_s}{m_A}\right)] \quad (46)$$

$$MI = \left(\frac{a}{p}\right) \left(\frac{1}{MW_P}\right) \left(\frac{100}{\eta}\right) [MW_A + MW_B \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{m_B}{m'_B}\right) + MW_C \left(\frac{c}{a}\right) \left(\frac{m_C}{m'_C}\right) + MW_A \left(\frac{m_{aux} + m_s}{m_A}\right)] \quad (47)$$

Economia atômica percentual (AE)

$$AE = 100 \left(\frac{p MW_P}{a MW_A + b MW_B}\right) \quad (48)$$

$$AE = 100 \left(\frac{p MW_P}{a MW_A + b MW_B + c MW_C}\right) \quad (49)$$

Multiplicando por $\left(\frac{MW_A}{MW_A}\right)$

$$AE = 100 \left(\frac{MW_P}{MW_A}\right) \left(\frac{p MW_A}{a MW_A + b MW_B}\right) \quad (50)$$

$$AE = 100 \left(\frac{MW_P}{MW_A}\right) \left(\frac{p MW_A}{a MW_A + b MW_B + c MW_C}\right) \quad (51)$$

Dividindo o numerador e o denominador da expressão 50 por MW_B

$$AE = 100 \left(\frac{MW_P}{MW_A}\right) \left(\frac{\frac{p MW_A}{MW_B}}{\frac{a MW_A}{MW_B} + b}\right) \quad (52)$$

Utilização atômica percentual (AU)

$$AU = 100 \frac{m_P}{m_P + m_D} \quad (53)$$

$$m_D = m_A + m_B - m_P \quad (54)$$

$$m_D = m_A + m_B + m_C - m_P \quad (55)$$

$$AU = 100 \frac{m_P}{m_A + m_B} \quad (56)$$

$$AU = 100 \frac{m_P}{m_A + m_B + m_C} \quad (57)$$

Eficiência de massa relativa (RME)

$$RME = 100 \left(\frac{m_P}{m_A + m_B} \right) \quad (58)$$

$$RME = 100 \left(\frac{m_P}{m_A + m_B + m_C} \right) \quad (59)$$

$$AU = RME \text{ (ver expressões 56 e 57)} \quad (60)$$

Dividindo o numerador e o denominador por n_A

$$RME = 100 \frac{\frac{n_P MW_P}{n_A}}{MW_A + \frac{n_B MW_B}{n_A}} \quad (61)$$

$$RME = 100 \frac{\frac{n_P MW_P}{n_A}}{MW_A + \frac{n_B MW_B}{n_A} + \frac{n_C MW_C}{n_A}} \quad (62)$$

Substituindo $n_P = \left(\frac{n_A}{100}\right) \left(\frac{P}{a}\right) \eta$ nas expressões 61 e 62

$$RME = 100 \frac{\left(\frac{MW_P}{100}\right) \left(\frac{P}{a}\right) \eta}{MW_A + \left(\frac{n_B}{n_A}\right) MW_B} \quad (63)$$

$$RME = 100 \frac{\left(\frac{MW_P}{100}\right) \left(\frac{P}{a}\right) \eta}{MW_A + \left(\frac{n_B}{n_A}\right) MW_B + \left(\frac{n_C}{n_A}\right) MW_C} \quad (64)$$

A partir das expressões 21 e 22

$$n_A = \frac{a}{b} n'_B$$

$$n_A = \frac{a}{c} n'_C$$

substituindo n_A nas expressões 63 e 64

$$RME = 100 \frac{\left(\frac{MW_P}{100}\right) \left(\frac{P}{a}\right) \eta}{MW_A + \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{n_B}{n'_B}\right) MW_B} \quad (65)$$

$$\text{RME} = 100 \frac{\left(\frac{\text{MW}_P}{100}\right) \left(\frac{p}{a}\right) \eta}{\text{MW}_A + \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{n_B}{n'_B}\right) \text{MW}_B + \left(\frac{c}{a}\right) \left(\frac{n_C}{n'_C}\right) \text{MW}_C} \quad (66)$$

como

$$\frac{n_B}{n'_B} = \frac{m_B}{m'_B} \quad (67)$$

Substituindo nas expressões 65 e 66

$$\text{RME} = \left(\frac{p}{a}\right) \eta \frac{\text{MW}_P}{\text{MW}_A + \left(\frac{b}{a}\right) (\text{MW}_B) \frac{m_B}{m'_B}} \quad (68)$$

$$\text{RME} = \left(\frac{p}{a}\right) \eta \frac{\text{MW}_P}{\text{MW}_A + \left(\frac{b}{a}\right) (\text{MW}_B) \frac{m_B}{m'_B} + \left(\frac{c}{a}\right) (\text{MW}_C) \frac{m_C}{m'_C}} \quad (69)$$

Multiplicando por $\left(\frac{\text{MW}_A}{\text{MW}_A}\right)$

$$\text{RME} = \left(\frac{p}{a}\right) \eta \left(\frac{\text{MW}_P}{\text{MW}_A}\right) \frac{\text{MW}_A}{\text{MW}_A + \left(\frac{b}{a}\right) (\text{MW}_B) \frac{m_B}{m'_B}} \quad (70)$$

$$\text{RME} = \left(\frac{p}{a}\right) \eta \left(\frac{\text{MW}_P}{\text{MW}_A}\right) \frac{\text{MW}_A}{\text{MW}_A + \left(\frac{b}{a}\right) (\text{MW}_B) \frac{m_B}{m'_B} + \left(\frac{c}{a}\right) (\text{MW}_C) \frac{m_C}{m'_C}} \quad (71)$$

Eficiência elemental percentual (XEE)

$$\text{XEE} = 100 \frac{n_P n_{XP} \text{AW}_X}{(n_A n_{XA} \text{AW}_X) + (n_B n_{XB} \text{AW}_X)} \quad (72)$$

$$\text{XEE} = 100 \frac{n_P n_{XP} \text{AW}_X}{(n_A n_{XA} \text{AW}_X) + (n_B n_{XB} \text{AW}_X) + (n_C n_{XC} \text{AW}_X)} \quad (73)$$

Dividindo o numerador e o denominador das expressões 72 e 73 por AW_X

$$\text{XEE} = 100 \frac{n_P n_{XP}}{(n_A n_{XA}) + (n_B n_{XB})} \quad (74)$$

$$\text{XEE} = 100 \frac{n_P n_{XP}}{(n_A n_{XA}) + (n_B n_{XB}) + (n_C n_{XC})} \quad (75)$$

Dividindo o numerador e o denominador das expressões 74 e 75 por n_A

$$\text{XEE} = 100 \frac{\frac{n_P n_{XP}}{n_A}}{n_{XA} + \frac{n_B n_{XB}}{n_A}} \quad (76)$$

$$\text{XEE} = 100 \frac{\frac{n_P n_{XP}}{n_A}}{n_{XA} + \frac{n_B n_{XB}}{n_A} + \frac{n_C n_{XC}}{n_A}} \quad (77)$$

A partir da expressão 14

$$\frac{n_P}{n_A} = \left(\frac{p}{a}\right) \left(\frac{\eta}{100}\right) \quad (78)$$

A partir das expressões 21 e 22

$$\frac{n_B}{n_A} = \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{n_B}{n'_B}\right) \quad (79)$$

$$\frac{n_C}{n_A} = \left(\frac{c}{a}\right) \left(\frac{n_C}{n'_C}\right) \quad (80)$$

Substituindo $\frac{n_P}{n_A}$ (expressão 78) e $\frac{n_B}{n_A}$ e $\frac{n_C}{n_A}$ (expressões 79 e 80) nas expressões 76 e 77

$$XEE = \frac{\left(\frac{p}{a}\right) n_{XP}\eta}{n_{XA} + \left(\frac{b}{a}\right) n_{XB} \left(\frac{n_B}{n'_B}\right)} \quad (81)$$

$$XEE = \frac{\left(\frac{p}{a}\right) n_{XP}\eta}{n_{XA} + \left(\frac{b}{a}\right) n_{XB} \left(\frac{n_B}{n'_B}\right) + \left(\frac{c}{a}\right) n_{XC} \left(\frac{n_C}{n'_C}\right)} \quad (82)$$

Dividindo o numerador e o denominador das expressões 81 e 82 por n_A

$$XEE = \frac{\left(\frac{p}{a}\right) \left(\frac{n_{XP}}{n_{XA}}\right)\eta}{1 + \left(\frac{n_{XB}}{n_{XA}}\right) \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{n_B}{n'_B}\right)} \quad (83)$$

$$XEE = \frac{\left(\frac{p}{a}\right) \left(\frac{n_{XP}}{n_{XA}}\right)\eta}{1 + \left(\frac{n_{XB}}{n_{XA}}\right) \left(\frac{b}{a}\right) \left(\frac{n_B}{n'_B}\right) + \left(\frac{n_{XC}}{n_{XA}}\right) \left(\frac{c}{a}\right) \left(\frac{n_C}{n'_C}\right)} \quad (84)$$

ANEXO VII

DETALHES EXPERIMENTAIS DO CICLO DO COBRE

ANEXO VII A - Procedimento experimental a microescala

ANEXO VII B - Procedimento experimental a microescala otimizado

ANEXO VII C - Procedimento experimental a macroescala

ANEXO VII D – Estrela Verde para a produção do óxido de cobre

ANEXO VII E – Estrela Verde para a recuperação do cobre

ANEXO VII F – Estrela Verde para o ciclo do cobre global

ANEXO VII A – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL A MICROESCALA

Parte I – Produção do óxido de cobre

Ponto de Partida

- 1- Cortar um fio de cobre de modo a obter uma amostra de 100 mg.
- 2- Colocar o fio de cobre num erlenmeyer de 10mL.

Reação A- Preparação de solução de nitrato de cobre (II)

- 3- Na Hotte, adicionar 2mL de HNO_3 (6 mol dm^{-3}), cobrir o erlenmeyer com um copo de 10mL invertido e aquecer lentamente numa placa de aquecimento. Continuar a aquecer até que o cobre metálico se dissolva completamente e a evolução dos fumos de NO_2 deixe de se ver.
- 4- Deixar a solução azul de nitrato de cobre (II) arrefecer à temperatura ambiente. Pode apressar o processo de arrefecimento deixando correr água fria no exterior do erlenmeyer.
- 5- Depois de frio adicionar 2mL de água destilada à solução azul.

Reação B- Preparação do hidróxido de cobre (II)

- 6- Adicionar uma barra magnética ao erlenmeyer e colocá-lo num banho de água e gelo numa placa agitadora. Com agitação adicionar, lentamente, em incrementos de 0,5 mL de uma solução aquosa de hidróxido de sódio 6 mol dm^{-3} (cerca de 10 mL).

Reação C- Preparação do óxido de cobre (II)

- 7- Agitando, aquecer a solução quase até à ebulição. Retirar a solução da placa de aquecimento quando a reação estiver completa (forma-se óxido de cobre (II), precipitado preto).
- 8- Deixar a mistura arrefecer à temperatura ambiente e retirar a barra magnética. Se necessário lavar a barra com água para dentro do erlenmeyer. Isolar o precipitado por filtração. Lavar o erlenmeyer com 1 a 2 mL de água destilada para completar a transferência.
- 9- Deixar secar o CuO e pesar.

Parte II – Recuperação do cobre

Reação D- Preparação do sulfato de cobre

- 10- Aquecer 6mL de H_2SO_4 (3 mol dm^{-3}) num copo de 30 mL sem deixar entrar em ebulição.
- 11- Despejar o ácido sulfúrico quente sobre o bolo de precipitado e agitar até se dissolver todo o precipitado.
- 12- Adicionar 2 mL de água.

Reação E- Regeneração do cobre metálico

- 13- Colocar o copo contendo a solução de sulfato de cobre (II) pentahidratado na Hotte e adicionar, em pequenas porções cerca de 800 mg de zinco em pó. Agitar a mistura com uma vareta, até que a cor azul clara da solução inicial desapareça. Forma-se um precipitado metálico de cobre. Verifica-se a libertação de hidrogénio gasoso (libertação lenta).
- 14- Depois da reação completa, adicionar 5 mL de uma solução de HCl (3M), e agitar com uma vareta de vidro. Esta operação remove qualquer zinco que não tenha reagido.

REAGENTES, MATERIAL E EQUIPAMENTO

Reagentes Estequiométricos

- Cobre (em fio/folha)
- Ácido nítrico - 6 mol dm^{-3}
- Solução aquosa de hidróxido de sódio - 6 mol dm^{-3}
- Ácido sulfúrico - 3 mol dm^{-3}
- Zinco (em pó)

Substâncias auxiliares

- Ácido clorídrico - 3 mol dm^{-3}
- Água desionizada

Resíduos

- Dióxido de azoto gasoso
- Nitrato de Sódio em solução aquosa
- Sulfato de zinco em solução aquosa
- Ácido clorídrico em solução aquosa
- Água

Material

- 1 balão de erlenmeyer de 25mL
 - 3 gobelés de 25 mL
 - Placa de aquecimento FALC T= 250° C
 - Placa Agitadora – Agimatic E, na posição 700 rpm
 - Tina 500 mL
 - Agitador magnético (comprimento 1,2 cm)
 - Barra magnética para remover o agitador
 - funil
 - suporte de funil
 - papel de filtro(diâmetro 90 mm)
 - micropipeta (Pipetman Ultra da Gilson – U 5000 – 1-5mL)
 - vidro de relógio (para a pesagem do zinco)
 - micro espátula
 - vareta
 - termómetro
 - 1 tubo de ensaio
 - Caixa de petri
- } Placa de aquecimento com agitação magnética

Equipamento

- Placa de aquecimento FALC T= 250° C
- Placa Agitadora – Agimatic E, na posição 700 rpm
- Balança analítica ou semi-analítica $\pm 0,001$ g

ANEXO VII B – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL A MICROESCALA OPTIMIZADO

Parte I – Produção do óxido de cobre

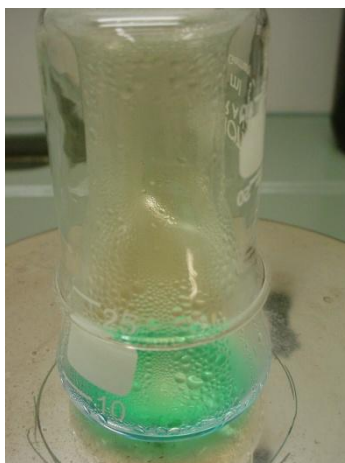
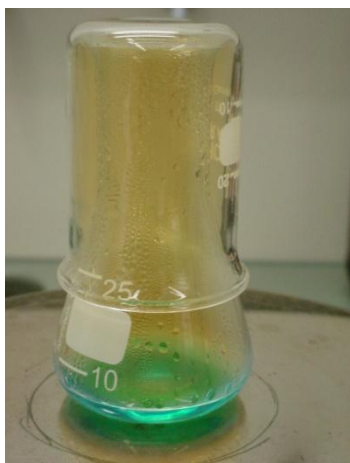
Ponto de Partida

- 1- Preparar uma amostra de 100 mg de cobre a partir de um fio de cobre ou de uma folha de cobre.
- 2- Colocar a amostra de cobre num erlenmeyer de 25 mL.

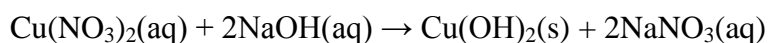
Reação A- Preparação de solução de nitrato de cobre (II)



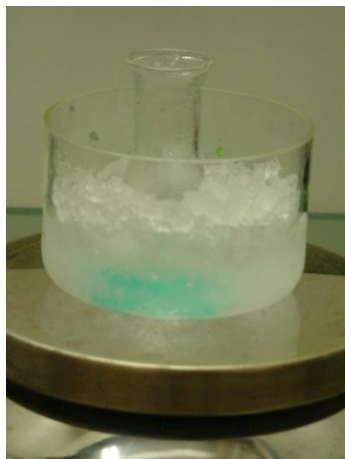
- 3- Na Hotte, adicionar 1,1 mL de HNO₃ (6M), cobrir o erlenmeyer com um copo de 25mL invertido e aquecer lentamente numa placa de aquecimento (Placa de aquecimento FALC T= 250° C, tempo de aquecimento cerca de 2 minutos). Continuar a aquecer até que o cobre metálico se dissolva completamente e a evolução dos fumos de NO₂ deixe de se ver. Forma-se uma solução de cor azul de nitrato de cobre (II).
- 4- Deixar a solução arrefecer à temperatura ambiente (temperatura ambiente 25°C). Em seguida adicionar 2mL de água destilada.



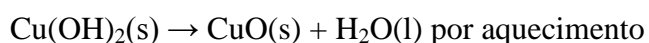
Reação B- Preparação do hidróxido de cobre (II)



- 5- Introduzir uma barra magnética no erlenmeyer e colocá-lo num banho de água e gelo numa placa agitadora (Placa Agitadora – Agimatic E, na posição 700 rpm). Agitando continuamente adicionar cuidadosamente 1 mL de NaOH (6M) durante cerca de 5 minutos. Forma-se um precipitado azul de hidróxido de cobre.



Reação C- Preparação do óxido de cobre (II)

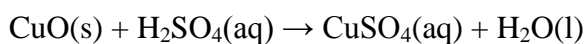


- 6- Aquecer a mistura, no erlenmeyer, num banho de areia a 110-115°C, agitando permanentemente (Placa de aquecimento FALC T= 300° C, tempo de aquecimento cerca de 15 minutos, agitação 7 rpm). Forma-se um precipitado preto de óxido de cobre (II).
- 7- Deixar a mistura arrefecer à temperatura ambiente e retirar o agitador magnético. Lavar a barra com 1 mL de água destilada para dentro do erlenmeyer.
- 8- Efetuar uma filtração por gravidade, lavar o erlenmeyer com água destilada (cerca de 5 mL de água destilada). Despejar o filtrado.
- 9- Deixar o óxido de cobre secar no papel de filtro, num excicador.
- 10- Remover o óxido de cobre para um copo e pesar o óxido de cobre. Pesá-lo até que a variação de massa entre pesagens seja inferior a 1%.



Parte II – Recuperação do Cobre

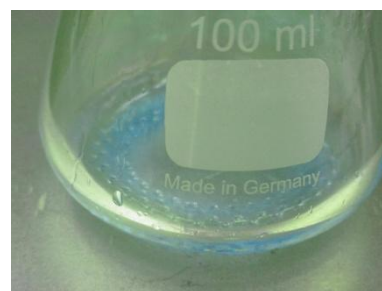
Reação D- Preparação do sulfato de cobre



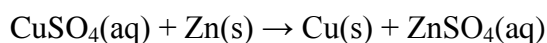
11- Aquecer 5 mL de H_2SO_4 (3M) num copo de 25 mL sem deixar entrar em ebulição (Placa de aquecimento FALC T= 250° C, tempo de aquecimento cerca de 1,5 minutos).

12- Despejar o ácido sulfúrico quente sobre o o óxido de cobre e agitar com o auxílio do agitador magnético (Placa Agitadora – Agimatic E, na posição 700 rpm), até que o precipitado preto se tenha dissolvido completamente. A solução resultante tem cor azul.

13- Adicionar 1 mL de água.



Reação E- Regeneração do cobre metálico



- 14- Colocar o copo contendo a solução de sulfato de cobre (II) pentahidratado na Hotte e adicionar, em pequenas porções, cerca de 400 mg de zinco em pó (triturar o zinco). Agitar a mistura com agitação magnética (Placa Agitadora – Agimatic E, na posição 900 rpm, tempo de agitação – cerca de 30 minutos)., até que a cor azul clara da solução inicial desapareça. Forma-se um precipitado metálico de cobre. Verifica-se a libertação de hidrogénio gasoso (libertação lenta).
- 15- Para verificar que não ficaram iões de Cu(II) na solução, adiciona-se uma gota de solução a 1 mL de solução concentrada de amoníaco, num pequeno tubo de ensaio. Se se formar uma cor azul escura devida a formação de $\text{Cu}(\text{NH}_3)_2^+$, a reação do cobre com o zinco ainda não foi completa.
- 16- Depois de garantir que a reação foi completa, adicionar 4,5 mL de uma solução de HCl (3M), e agitar a mistura com agitação magnética (Placa Agitadora – Agimatic E, na posição 900 rpm, tempo de agitação – cerca de 60 minutos). Esta operação remove qualquer zinco que não tenha reagido. Deixar o precipitado de cobre assentar, decantar e lavar o sólido 3 vezes com porções de 2mL de água destilada. Decantar a solução entre lavagens.
- 17- Espalhar o cobre metálico numa caixa de petri e deixar secar na estufa durante duas horas a uma temperatura de 110°C.
- 18- Pesar o cobre até que a variação de massa entre pesagens seja inferior a 1%.



REAGENTES, MATERIAL E EQUIPAMENTO

Reagentes Estequiométricos

- Cobre (em fio/folha)
- Ácido nítrico - 6 mol dm^{-3}
- Solução aquosa de hidróxido de sódio - 6 mol dm^{-3}
- Ácido sulfúrico - 3 mol dm^{-3}
- Zinco (em pó)

Substâncias auxiliares

- Ácido clorídrico - 3 mol dm^{-3}
- Água desionizada

Resíduos

- Dióxido de azoto gasoso
- Nitrato de Sódio em solução aquosa
- Sulfato de zinco em solução aquosa
- Ácido clorídrico em solução aquosa
- Água

Material

- 1 balão de erlenmeyer de 25mL
 - 3 gobelés de 25 mL
 - Placa de aquecimento FALC T= 250° C
 - Placa Agitadora – Agimatic E, na posição 700 rpm
 - Tina 500 mL
 - Agitador magnético (comprimento 1,2 cm)
 - Barra magnética para remover o agitador
 - funil
 - suporte de funil
 - papel de filtro(diâmetro 90 mm)
 - micropipeta (Pipetman Ultra da Gilson – U 5000 – 1-5mL)
 - vidro de relógio (para a pesagem do zinco)
 - micro espátula
 - vareta
- } Placa de aquecimento com agitação magnética

- termómetro
- 1 tubo de ensaio
- Caixa de petri

Equipamento

- Placa de aquecimento FALC T= 250° C
- Placa Agitadora – Agimatic E, na posição 700 rpm
- Balança analítica ou semi-analítica $\pm 0,001\text{g}$

ANEXO VII C – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL A MACROESCALA

Parte I – Produção do óxido de cobre

Ponto de Partida

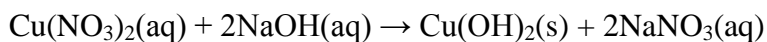
- 1- Preparar uma amostra de 300 mg de cobre a partir de um fio de cobre ou de uma folha de cobre.
- 2- Colocar a amostra de cobre num erlenmeyer de 50 mL.

Reação A- Preparação de solução de nitrato de cobre (II)



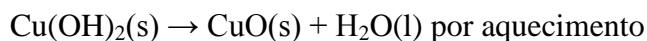
- 3- Na Hotte, adicionar 3,3 mL de HNO₃ (6M), cobrir o erlenmeyer com um copo de 50mL invertido e aquecer lentamente numa placa de aquecimento (Placa de aquecimento FALC T= 250° C, tempo de aquecimento cerca de 3 minutos). Continuar a aquecer até que o cobre metálico se dissolva completamente e a evolução dos fumos de NO₂ deixe de se ver. Forma-se uma solução de cor azul de nitrato de cobre (II).
- 4- Deixar a solução arrefecer à temperatura ambiente (temperatura ambiente 25°C). Em seguida adicionar 6mL de água destilada.

Reação B- Preparação do hidróxido de cobre (II)



- 5- Introduzir uma barra magnética no erlenmeyer e colocá-lo num banho de água e gelo numa placa agitadora (Placa Agitadora – Agimatic E, na posição 700 rpm). Agitando continuamente adicionar cuidadosamente 3 mL de NaOH (6M) durante cerca de 5 minutos. Forma-se um precipitado azul de hidróxido de cobre.

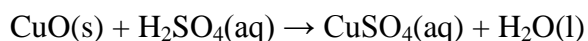
Reação C- Preparação do óxido de cobre (II)



- 6- Aquecer a mistura, no erlenmeyer, num banho de areia a 110-115°C, agitando permanentemente (Placa de aquecimento FALC T= 300° C, tempo de aquecimento cerca de 20 minutos, agitação 700 rpm). Forma-se um precipitado preto de óxido de cobre (II).
- 7- Deixar a mistura arrefecer à temperatura ambiente e retirar o agitador magnético. Lavar a barra com 1 mL de água destilada para dentro do erlenmeyer.
- 8- Efectuar uma filtração por gravidade, lavar o erlenmeyer com água destilada (cerca de 5 mL de água destilada). Despejar o filtrado.
- 9- Deixar o óxido de cobre secar no papel de filtro, num excicador.
- 10- Remover o óxido de cobre para um copo e pesar o óxido de cobre. Peser o óxido de cobre até que a variação de massa entre pesagens seja inferior a 1%.

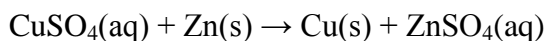
Parte II – Recuperação do Cobre

Reação D- Preparação do sulfato de cobre



- 11- Aquecer 15 mL de H₂SO₄ (3M) num copo de 50 mL sem deixar entrar em ebulição (Placa de aquecimento FALC T= 250° C, tempo de aquecimento cerca de 2,5 minutos).
- 12- Despejar o ácido sulfúrico quente sobre o óxido de cobre e agitar com o auxílio do agitador magnético (Placa Agitadora – Agimatic E, na posição 700 rpm), até que o precipitado preto se tenha dissolvido completamente. A solução resultante tem cor azul.
- 13- Adicionar 3 mL de água.

Reação E- Regeneração do cobre metálico



- 14- Colocar o copo contendo a solução de sulfato de cobre (II) pentahidratado na Hotte e adicionar, em pequenas porções, cerca de 1370 mg de zinco em pó (triturar o zinco). Agitar a mistura com agitação magnética (Placa Agitadora – Agimatic E, na posição 900 rpm, tempo de agitação – cerca de 90 minutos)., até que a cor azul clara da solução inicial desapareça. Forma-se um precipitado metálico de cobre. Verifica-se a libertação de hidrogénio gasoso (libertação lenta).
- 15- Para verificar que não ficaram iões de Cu(II) na solução, adiciona-se uma gota de solução a 1 mL de solução concentrada de amoníaco, num pequeno tubo de ensaio. Se se formar uma cor azul escura devida a formação de $\text{Cu}(\text{NH}_3)^{2+}$, a reacção do cobre com o zinco ainda não foi completa.
- 16- Depois de garantir que a reacção foi completa, adicionar 13,5 mL de uma solução de HCl (3M), e agitar a mistura com agitação magnética (Placa Agitadora – Agimatic E, na posição 900 rpm, tempo de agitação – cerca de 90 minutos). Esta operação remove qualquer zinco que não tenha reagido. Deixar o precipitado de cobre assentar, decantar e lavar o sólido 3 vezes com porções de 2mL de água destilada. Decantar a solução entre lavagens.
- 17- Espalhar o cobre metálico numa caixa de petri e deixar secar na estufa durante duas horas a uma temperatura de 110°C.
- 18- Pesar o cobre até que a variação de massa entre pesagens seja inferior a 1%.

REAGENTES, MATERIAL E EQUIPAMENTO

Reagentes Estequiométricos

- Cobre (em fio/folha)
- Ácido nítrico - 6 mol dm⁻³
- Solução aquosa de hidróxido de sódio - 6 mol dm⁻³
- Ácido sulfúrico - 3 mol dm⁻³
- Zinco (em pó)

Substâncias auxiliares

- Ácido clorídrico - 3 mol dm^{-3}
- Água desionizada

Resíduos

- Dióxido de azoto gasoso
- Nitrato de Sódio em solução aquosa
- Sulfato de zinco em solução aquosa
- Ácido clorídrico em solução aquosa
- Água

Material

- 1 balão de erlenmeyer de 50mL
 - 3 gobelés de 50 mL
 - Placa de aquecimento FALC T= 250° C
 - Placa Agitadora – Agimatic E, na posição 700 rpm
 - Tina 500 mL
 - Agitador magnético
 - Barra magnética para remover o agitador
 - funil
 - suporte de funil
 - papel de filtro
 - micropipeta (Pipetman Ultra da Gilson – U 5000 – 1-5mL)
 - vidro de relógio (para a pesagem do zinco)
 - micro espátula
 - vareta
 - termómetro
 - 1 tubo de ensaio
 - Caixa de petri
- } Placa de aquecimento com agitação magnética

Equipamento

- Placa de aquecimento FALC T= 250° C
- Placa Agitadora – Agimatic E, na posição 700 rpm
- Balança analítica ou semi-analítica $\pm 0,001 \text{ g}$

ANEXO VII D – ESTRELA VERDE PARA A PRODUÇÃO DO ÓXIDO DE COBRE

Tabela 1. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na produção do óxido de cobre

Substâncias envolvidas	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Cobre em folha	-	1	1	1
Ácido nítrico (solução 6 mol dm ⁻³)	C	3	1	3
Hidróxido de sódio (solução 6 mol dm ⁻³)	C	3	1	3
Solventes				
Água	-	1	1	1
Produto				
Óxido de cobre	Xn	2	1	2
Resíduos				
Água	-	1	1	1
Óxido de azoto	T ⁺	3	1	3
Nitrato de sódio	Xn, O	2	1	3

Tabela 2. Pontuações para construir as EV da produção de óxido de cobre

PRINCÍPIOS	Pontuação	Explicação
P1 – Prevenção	1	Óxido de azoto (T ⁺) nos resíduos
P2- Economia atómica	1	Grande excesso de hidróxido de sódio e com coprodutos
P3 – Sínteses menos perigosas	1	Ácido nítrico e hidróxido de sódio (C)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Água sem indicação de toxicidade
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	1	Aquecimento 110°C (banho de areia)
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável
P8 – Redução de derivatizações	3	Sem derivatizações
P9 – Catalisadores	3	Sem catalisadores
P10 – Planificação para a degradação	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Ácido nítrico(C), Hidróxido de sódio (C), Óxido de azoto (T ⁺) e Nitrato de sódio (O)

ANEXO VII E – ESTRELA VERDE PARA A RECUPERAÇÃO DO COBRE

Tabela 3. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na recuperação do cobre

Substâncias envolvidas	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Óxido de cobre	Xn	2	1	2
Ácido sulfúrico (solução 3 mol dm ⁻³)	C	3	1	3
Zinco em pó	N	1	3	1
Solventes				
Água	-	1	1	1
Substâncias auxiliares				
Ácido clorídrico (solução 3 mol dm ⁻³)	Xi	2	1	2
Produto				
Cobre em pó	F	1	1	3
Resíduos				
Água	-	1	1	1
Sulfato de zinco	Xn, N	2	3	2
Ácido clorídrico (solução 3 mol dm ⁻³)	Xi	2	1	2

Tabela 4. Pontuações para construir a EV da recuperação do cobre

PRINCÍPIOS	Pontuação	Explicação
P1 – Prevenção	1	Sulfato de zinco (N) nos resíduos
P2- Economia atômica	1	Grande excesso de ácido sulfúrico e zinco com coprodutos
P3 – Sínteses menos perigosas	1	Ácido sulfúrico (C), zinco (N)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	2	Ácido clorídrico (Xi)
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	2	Aquecimento até 100°C
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável
P8 – Redução de derivatizações	3	Sem derivatizações
P9 – Catalisadores	3	Sem catalisadores
P10 – Planificação para a degradação	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Ácido sulfúrico (C), cobre (F)

ANEXO VII F – ESTRELA VERDE PARA O CICLO DO COBRE GLOBAL

Tabela 5. Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas na recuperação do cobre

Substâncias envolvidas	Símbolos	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
Reagentes				
Cobre em folha	-	1	1	1
Ácido nítrico (solução 6 mol dm ⁻³)	C	3	1	3
Hidróxido de sódio (solução 6 mol dm ⁻³)	C	3	1	3
Ácido sulfúrico (solução 3 mol dm ⁻³)	C	3	1	3
Zinco em pó	N	1	3	1
Solventes				
Água	-	1	1	1
Substâncias auxiliares				
Ácido clorídrico (solução 3 mol dm ⁻³)	Xi	2	1	2
Produto				
Cobre em pó	F	1	1	3
Resíduos				
Óxido de azoto	T ⁺	3	1	3
Nitrato de sódio	Xn, O	2	1	3
Água	-	1	1	1
Sulfato de zinco	Xn, N	2	3	2
Ácido clorídrico (solução 3 mol dm ⁻³)	Xi	2	1	2

Tabela 6. Pontuações para construir a EV da recuperação do cobre

PRINCÍPIOS	Pontuação	Explicação
P1 – Prevenção	1	Óxido de azoto (T ⁺), Nitrato de sódio (O), Sulfato de zinco (N) nos resíduos
P2- Economia atômica	1	Grande excesso de hidróxido de sódio, ácido sulfúrico e zinco com coprodutos
P3 – Sínteses menos perigosas	1	Ácido sulfúrico (C), zinco (N)
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	2	Ácido clorídrico (Xi)
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética	1	Aquecimento 110°C (banho de areia)
P7 – Uso de matérias primas renováveis	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável
P8 – Redução de derivatizações	2	Uma derivatização envolvida
P9 – Catalisadores	3	Sem catalisadores
P10 – Planificação para a degradação	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Óxido de azoto (T ⁺) e Nitrato de sódio (O), Ácido sulfúrico (C), zinco e sulfato de zinco (N)

ANEXO VIII

ANÁLISE DOS PROTOCOLOS DA LITERATURA PARA A SÍNTESE DA DIBENZALACETONA

ANEXO VIII A - Protocolo A

ANEXO VIII B - Protocolo B

ANEXO VIII C - Protocolo C

ANEXO VIII D - Protocolo D

ANEXO VIII E - Protocolo E

ANEXO VIII F - Protocolo F

ANEXO VIII G - Protocolo G

ANEXO VIII H - Estrela Verde

ANEXO VIII I - Quadros resumos dos protocolos

ANEXO VIII A – PROTOCOLO A [18]

Procedimento para a síntese (neste protocolo é usado um excesso de cerca de 6% de benzaldeído)

1. Num matrás de 100 mL, dissolver 2,5 g (62,5 mmol) de NaOH em 12,5 mL de água.
2. Adicionar à mistura anterior, 12,5 mL de etanol, agitar e deixar a solução resultante arrefecer até à temperatura ambiente.
3. Adicionar 5,3 mL (51,9 mmol) de benzaldeído e 1,8 mL (24,4 mmol) de acetona.
4. Agitar a mistura reaccional durante 15 minutos e deixar depois em repouso, durante 30 minutos.
5. Filtrar o sólido obtido, por sucção, num funil de Büchner, lavando com etanol arrefecido e deixar secar sob vácuo, durante 5 minutos.

Procedimento para a recristalização

6. Recristalizar o sólido obtido com metanol.
7. Secar, pesar e determinar o ponto de fusão.

ANEXO VIII B – PROTOCOLO B [22]

Procedimento para a síntese (neste protocolo é usado um excesso de cerca de 3% acetona)

1. Num matrás de 150 mL, dissolver 5 g (125,0 mmol) de NaOH em 50 mL de água .
2. Adicionar 40 mL de etanol e agitar.
3. Adicionar uma mistura de 5,1 mL (50 mmol) de benzaldeído e 1,9 mL (25,7 mmol) de acetona.
4. Agitar frequentemente e manter a temperatura a 20-25°C, durante 15 minutos.
5. Filtrar o sólido obtido, por sucção, num funil de Büchner, lavando com água arrefecida.

Procedimento para a recristalização

6. Recristalizar o sólido obtido com 2,5 mL de acetato de etilo aquecido, por cada 1g de dibenzalacetona.
7. Secar, pesar e determinar o ponto de fusão.

ANEXO VIII C – PROTOCOLO C [23]

Procedimento para a síntese (neste protocolo são usadas proporções estequiométricas).

1. Num matrás de 150 mL, fazer dissolver 5g (125,1 mmol) de hidróxido de sódio em 50 mL de água e 40 mL de etanol.
2. Num matrás de 125 mL, misturar 0,05 mol de benzaldeído com a quantidade estequiométrica de acetona.
3. Adicionar metade da mistura referida em 2, à mistura referida em 1.
4. Agitar a mistura reaccional durante 15 minutos e adicionar a mistura remanescente, usando etanol para completar a transferência, continuando a agitar por mais 30 minutos.
5. Filtrar o sólido obtido, por sucção, num funil de Büchner, usando água para completar a transferência. Lavar o produto no funil com três lavagens de 100 mL de água.

Procedimento para a recristalização

6. Recristalizar o sólido obtido com etanol ou uma mistura de 70:30 de etanol-água e inserir uma barra para promover a ebulição durante o aquecimento.
7. Deixar arrefecer lentamente até à temperatura ambiente. Em seguida, arrefecer o tubo num banho de gelo.
8. Filtrar a vácuo num funil de Hirsch e lavar uma vez com etanol a 70% arrefecido.
9. Secar, pesar e determinar o p.f. dos cristais.

ANEXO VIII D – PROTOCOLO D[20]

Procedimento para a síntese (neste protocolo é usado um excesso de cerca de 45% de benzaldeído)

1. Num matrás de 125 mL colocar 1,0 mL (13,5 mmol) de acetona, 4,0 mL (39,2 mmol) de benzaldeído, 20 mL de etanol a 95% e 15 mL (30,0 mmol) de uma solução aquosa de hidróxido de sódio 2 mol dm^{-3} .
2. Agitar a mistura durante 15 minutos à temperatura ambiente, até que não se forme mais precipitado. Em seguida, arrefecer em banho de gelo
3. Filtrar a vácuo. Lavar o precipitado sucessivamente com porções de 10 mL, arrefecidas em banho de gelo, de etanol a 95%, de uma solução a 4% de ácido acético em etanol e novamente de etanol a 95%.
4. Se o produto não for recristalizado, deixar a secar, e em seguida pesar e determinar o ponto de fusão dos cristais.

Procedimento para a recristalização

5. Recristalizar o sólido obtido com etanol.
6. Secar, pesar e determinar o ponto de fusão.

ANEXO VIII E – PROTOCOLO E[19]

Procedimento para a síntese (neste protocolo é usado um excesso de cerca de 11% de benzaldeído)

1. Num matrás de 50 mL dissolver 1,5 mL (14,7 mmol) de benzaldeído e 0,6 mL (8,1 mmol) de acetona em 10 mL de metanol.
2. Adicionar 15 mL de solução aquosa de hidróxido de sódio a 2%.
2. Aquecer ligeiramente em banho-maria, agitando vigorosamente a mistura durante 10 minutos, e em seguida deixar em repouso durante meia hora, agitando ocasionalmente.
3. Arrefecer em banho de gelo.
5. Filtrar o sólido obtido, por sucção, num funil de Büchner e lavar os cristais com água arrefecida.
6. Transferir as águas mães para o matrás, rolar e agitar com aquecimento, durante 15 minutos. Arrefecer em banho de gelo e recolher os cristais no funil de Buchener.
7. Deixar secar

Procedimento para a recristalização

7. Recristalizar o sólido obtido com metanol.
8. Secar, pesar e determinar o ponto de fusão.

ANEXO VIII F – PROTOCOLO F[21]

Procedimento para a síntese (neste protocolo é usado um excesso de cerca de 4% de benzaldeído)

1. Num tubo de ensaio de 10x100 mm, colocar cerca de 2 mL de uma solução aquosa de hidróxido de sódio a 10%.
2. Adicionar 1,6 mL de etanol a 95%, 0,20 mL (1,96 mmol) de benzaldeído e 0,07 mL (0,95 mmol) de acetona
3. Tapar o tubo e agitar vigorosamente cerca de 2 minutos. Continuar a agitar o tubo de vez em quando, nos 15 minutos seguintes.
4. Filtrar o sólido obtido, por sucção, num funil de Hirsch, lavando, com pelo menos, 10 mL de água arrefecida e deixar secar sob vácuo.
5. Deixar secar.

Procedimento para a recristalização

5. Colocar os cristais num tubo de ensaio, adicionar 2 mL de etanol a 95% e aquecer em banho maria, até que os cristais se dissolvam.
6. Retirar do banho e deixar arrefecer lentamente à temperatura ambiente. Em seguida, arrefecer o tubo num banho de gelo.
7. Isolar o produto por filtração a vácuo e lavar com 0,5 mL de etanol arrefecido.
8. Secar, pesar e determinar o ponto de fusão dos cristais.

ANEXO VIII G – PROTOCOLO G [2]

Procedimento para a síntese (neste protocolo é usado um excesso de cerca de 196% de benzaldeído)

1. Num gobelé de 250 mL, misturar 40 mL (40 mmol) de uma solução de benzaldeído em etanol (1 mol dm^{-3}) e 40 mL de uma solução aquosa de hidróxido de sódio ($0,5 \text{ mol dm}^{-3}$).
2. Adicionar a esta mistura 0,5 mL de acetona e deixar em repouso durante cerca de 20 minutos, agitando periodicamente.
3. Filtrar a vácuo.

Procedimento para a recristalização

4. Num gobelé de 50 mL, dissolver os cristais em 15-25 mL de etanol aquecido.
5. Após dissolução completa dos cristais, adicionar 1-2 mL de água arrefecida e colocar o recipiente num banho de gelo.
6. Filtrar a vácuo.
7. Secar e pesar.

ANEXO VIII H – ESTRELA VERDE

Tabela 1. Riscos envolvidos na síntese da dibenzalacetona

Reagentes	Protocolo							Símbolos de risco	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
	A	B	C	D	E	F	G				
Reagentes estequiométricos											
Benzaldeído	•	•	•	•	•	•	•	Xn	2	1	2
Acetona	•	•	•	•	•	•	•	F; Xi	2	1	3
Reagentes auxiliares											
Solventes											
Água	•	•	•	•	•	•	•	s/indicação	1	1	1
Etanol	•	•	•	•		•	•	F	1	1	3
Metanol					•			F, T	3	3	3
Ácido acético 4%				•				s/indicação	1	1	1
Outros reagentes auxiliares											
Hidróxido de Sódio	•	•	•	•	•	•	•	C	3	1	3
Produto											
Dibenzalacetona	•	•	•	•	•	•	•	s/indicação	1	1	1
Resíduos											
Água	•	•	•	•	•	•	•	s/indicação	1	1	1
Hidróxido de sódio <1%	•	•	•	•	•	•	•	Xi	2	1	2
Etanol	•	•	•	•		•	•	F	1	1	3
Metanol	•				•			F, T	3	3	3

Tabela 2. Riscos envolvidos na recristalização da dibenzalacetona

Reagentes	Protocolo							Símbolos de risco	Pontuação de riscos para a saúde	Pontuação de riscos para o ambiente	Pontuação de riscos de acidente
	A	B	C	D	E	F	G				
Reagentes											
Dibenzalacetona	•	•	•	•	•	•	•	s/indicação	1	1	1
Reagentes auxiliares											
Solventes											
Etanol			•	•		•	•	F	1	1	3
Metanol	•				•			F, T	3	3	3
Acetato de etilo		•						F, Xi	2	1	3
Água							•	s/indicação	1	1	1
Produto											
Dibenzalacetona	•	•	•	•	•	•	•	s/indicação	1	1	1
Resíduos											
Etanol			•	•		•	•	F	1	1	3
Metanol	•				•			F, T	3	3	3
Acetato de etilo		•						F, Xi	2	1	3
Água							•	s/indicação	1	1	1

Tabela 3. Componentes e pontuações (p) usadas para construir a EV da síntese da dibenzalacetona

Princípios da Química Verde	S2 Protocolo A 6% excesso benzaldeído		S2 Protocolo B 3% excesso de acetona		S1 Protocolo C Quantidades estequiométricas		S3 Protocolo D 45% excesso benzaldeído	
	p	Explicação	p	Explicação	p	Explicação	p	Explicação
P1 Prevenção	2	NaOH (Xi)	2	NaOH (Xi)	2	NaOH (Xi)	2	NaOH (Xi)
P2 Economia Atômica	2	Excesso <10% e com coprodutos	2	Excesso <10% e com coprodutos	2	Formação de coprodutos	1	Excesso >10% e com coprodutos
P3 Sínteses menos perigosas	1	NaOH (C)	1	NaOH (C)	1	NaOH (C)	1	NaOH (C)
P5 Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	3	Solventes sem indicação de toxicidade	3	Solventes sem indicação de toxicidade	3	Solventes sem indicação de toxicidade	3	Solventes sem indicação de toxicidade
P6 Planificação para conseguir eficácia energética	2	Arrefecimento em banho de gelo	2	Banho de água fria	3	Temperatura e pressão ambiente	2	Arrefecimento em banho de gelo
P7 Uso de matérias primas renováveis	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável
P8 Redução de derivatizações	3	Sem derivatizações	3	Sem derivatizações	3	Sem derivatizações	3	Sem derivatizações
P9 Catalisadores	1	NaOH é o catalisador	1	NaOH é o catalisador	1	NaOH é o catalisador	1	NaOH é o catalisador
P10 Planificação para a degradação	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos
P12 Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Acetona (F), Etanol (F), NaOH (C)	1	Acetona (F), Etanol (F), NaOH (C)	1	Acetona (F), Etanol (F), NaOH (C)	1	Acetona (F), Etanol (F), NaOH (C)

Tabela 4. Componentes e pontuações (p) usadas para construir a EV da síntese da dibenzalacetona - continuação

Princípios da Química Verde	S5 Protocolo E 11% excesso benzaldeído		S2 Protocolo F 4% excesso de benzaldeído		S4 Protocolo G 196% excesso de benzaldeído	
	p	Explicação	p	Explicação	p	Explicação
P1 Prevenção	1	Metanol (T)	2	NaOH (Xi)	2	NaOH (Xi)
P2 Economia Atômica	1	Excesso >10% e com coprodutos	2	Excesso <10% e com coprodutos	1	Excesso >10% e com coprodutos
P3 Sínteses menos perigosas	1	NaOH (C), Metanol (T)	1	NaOH (C)	1	NaOH (C)
P5 Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	1	Metanol (T)	3	Solventes sem indicação de toxicidade	3	Solventes sem indicação de toxicidade
P6 Planificação para conseguir eficácia energética	2	Arrefecimento em banho de gelo	2	Banho de água fria	3	Temperatura e pressão ambiente
P7 Uso de matérias primas renováveis	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável
P8 Redução de derivatizações	3	Sem derivatizações	3	Sem derivatizações	3	Sem derivatizações
P9 Catalisadores	1	NaOH é o catalisador	1	NaOH é o catalisador	1	NaOH é o catalisador
P10 Planificação para a degradação	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos
P12 Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Acetona (F), Etanol (F), NaOH (C)	1	Acetona (F), Etanol (F), NaOH (C)	1	Acetona (F), Etanol (F), NaOH (C)

Tabela 5. Componentes e pontuações (p) usadas para construir a EV da recristalização da dibenzalacetona

Princípios da Química Verde	R3 Protocolo A Metanol		R2 Protocolo B Acetato de etilo		R1 Protocolo C Etanol		R1 Protocolo D Etanol	
	p	Explicação	p	Explicação	p	Explicação	p	Explicação
P1 Prevenção	1	Metanol (T)	2	Acetato de etilo (Xi)	3	Resíduos inócuos	3	Resíduos inócuos
P5 Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	1	Metanol (T)	2	Acetato de etilo (Xi)	3	Solvente inócuo	3	Solvente inócuo
P6 Planificação para conseguir eficácia energética	2	Arrefecimento em banho de gelo	2	Aquecer	2	Arrefecimento em banho de gelo	2	Arrefecimento em banho de gelo
P7 Uso de matérias primas renováveis	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável
P10 Planificação para a degradação	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos
P12 Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Metanol (F,T)	1	Acetato de etilo (F)	1	Etanol (F)	1	Etanol (F)

Tabela 6. Componentes e pontuações (p) usadas para construir a EV da recristalização da dibenzalacetona - continuação

Princípios da Química Verde	R3 Protocolo E Metanol		R1 Protocolo F Etanol		R1 Protocolo G Etanol	
	p	Explicação	p	Explicação	p	Explicação
P1 Prevenção	1	Metanol (T)	3	Resíduos inócuos	3	Resíduos inócuos
P5 Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	1	Metanol (T)	3	Solvente inócuo	3	Solvente inócuo
P6 Planificação para conseguir eficácia energética	2	Arrefecimento em banho de gelo	2	0<T<100°C	2	Arrefecimento em banho de gelo
P7 Uso de matérias primas renováveis	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável	1	Nenhuma das substâncias envolvidas é renovável
P10 Planificação para a degradação	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos	1	As substâncias envolvidas não são degradáveis nem podem ser tratados para a sua degradação em produtos inócuos
P12 Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	1	Metanol (F,T)	1	Etanol (F)	1	Etanol (F)

ANEXO VIII I – QUADROS RESUMOS DOS PROTOCOLOS

Tabela 7. Quadro-resumo dos protocolos recolhidos para a síntese da dibenzalacetona

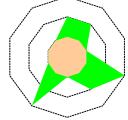
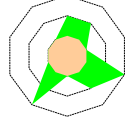
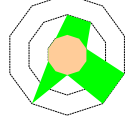
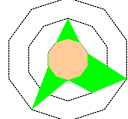
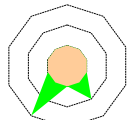
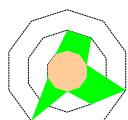
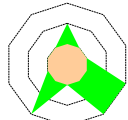
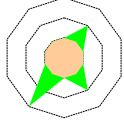
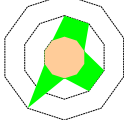
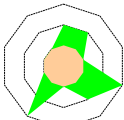
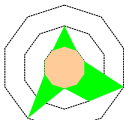
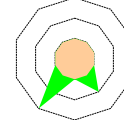
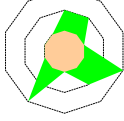
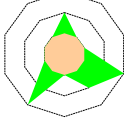
Prot .	Reagentes	Subst. auxiliar	Solventes para a síntese	Solventes lavagem	Condições	Rend %	p.f. °C	Obs.	EV	IPE
A	Benzaldeído o Acetona	Hidróxido de sódio	Água Etanol	Etanol frio	- 7% excesso de benzaldeído - Arrefecimento em banho de gelo - Secar por sucção por cerca de 5 min	-	-	Matrás 100mL Junta-se os reagentes 15min agitação+30 min repouso Determina-se p.f		21,25
B	= A	=A	= A	Água fria	- 3% excesso de acetona - Banho de água fria - Secar à temperatura ambiente	90,5	105-107	Matrás 150mL Junta-se tudo 15min agitação Determina-se p.f		21,25
C	= A	= A	= A	Água	- Quantidades estequiométricas - Temperatura ambiente - Secar por sucção por cerca de 10 min	-		Matrás 125mL Junta-se metade de cada vez 15min +30 min agitação Determina-se p.f		26,25
D	= A	= A	= A	Etanol 95% Ácido acético a 4% em etanol (frias)	- 45% excesso de benzaldeído - Arrefecimento em banho de gelo			Matrás 125mL Junta-se tudo 15min agitação Determina-se p.f		17,50
E	= A	= A	Metanol	Água gelada	- 11% excesso de benzaldeído - Arrefecimento em banho de gelo			Matrás 50 mL Junta-se metade de acetona de cada vez 10min +30 min agitação ocasional		7,5
F	= A	=A	=A	= B	- 4% excesso de benzaldeído - Arrefecimento em banho de gelo			Tubo de 10x100 mm Junta-se tudo 15min agitação		21,25
G	= A	=A	=A		- 196%excesso de benzaldeído - Temperatura ambiente			Copo de 250 mL Junta-se tudo 20 min agitação		22,50

Tabela 8. Quadro-resumo dos protocolos recolhidos para a recristalização da dibenzalacetona

Prot .	Reagentes	Subst. auxiliar	Solventes para a recristalização	Solventes lavagem	Condições	Rend %	p.f. °C	Obs.	EV	IPE
A	Dibenzalacetona		-Metanol		Arrefecimento em banho de gelo	-		Determina-se p.f		4,17
B	= A		- Acetato de etilo quente (2,5 mL/g)		- Acetato de etilo quente (2,5 mL/g)	75,1	112	Determina-se p.f		16,67
C	= A		- Etanol		=A	68,2		Determina-se p.f Espectro UV		33,33
D	= A		=C		=A	50-60%	113	Determina-se p.f		33,33
E	=A		=A		=A			Determinar p.f		4,17
F	=A		=C		0<T<100°C	45,1	110, 5-112	Determina-se p.f Espectro 1H_NMR		33,33
G	=A		- Etanol quente		=A	40-60				33,33

Tabela 9. Quadro-resumo dos protocolos recolhidos para a síntese global da dibenzalacetona

Prot .	Reagentes	Substância auxiliar	Solventes para a síntese	Solventes lavagem	Condições	Rend %	p.f. °C	Obs.	EV	IPE
A	Benzaldeíd o Acetona	Hidróxido de sódio	- Água - Etanol - Metanol	Etanol frio	- 7% excesso de benzaldeído - Arrefecimento em banho de gelo - Secar por sucção por cerca de 5 min - Recristalização com metanol e com arrefecimento em banho de gelo	-	-	Matrás 100mL Junta-se os reagentes 15min agitação+30 min repouso Determina-se p.f		10,00
B	= A	=A	- Água - Etanol - Acetato de etilo	Água fria	- 2- 3% excesso de acetona - Banho de água fria - Secar à temperatura ambiente - Recristalização com acetato de etilo quente	75,1	112	Matrás 150mL Junta-se tudo 15min agitação Determina-se p.f		17,50
C	= A	= A	- Água - Etanol	Água	- Quantidades estequiométricas - Temperatura ambiente - Lavar o sólido com água 3x100 mL - Secar por sucção por cerca de 10 min - Recristalização com etanol e com arrefecimento em banho de gelo	68,1		Matrás 125mL Junta-se metade de cada vez 15min +30 min agitação Determina-se p.f Espectro UV		21,25
D	= A	= A	- Água - Etanol	Etanol 95% Ácido acético a 4% em etanol (frias)	- 45% excesso de benzaldeído - Temperatura ambiente - Recristalização com etanol e com arrefecimento em banho de gelo	50-60%	113	Matrás 125mL Junta-se tudo 15min agitação Determina-se p.f		17,50
E	= A	= A	- Água - Metanol	Água gelada	- 11% excesso de acetona - Arrefecer em gelo a solução - Recristalização com metanol e com arrefecimento em banho de gelo			Matrás 50 mL Junta-se metade de acetona de cada vez 10min +30 min agitação ocasional Determinar p.f		7,50
F	= A	=A	= C	= B	- 4% excesso de benzaldeído - Temperatura ambiente - Recristalização com etanol e com arrefecimento em banho de gelo	43,6	110, 5-112	Tubo de 10x100 mm Junta-se tudo 15min agitação Determina-se p.f Espectro 1H_NMR		21,25
G	= A	=A	=A		- 196%excesso de benzaldeído - Temperatura ambiente - Recristalização com etanol quente e com arrefecimento em banho de gelo	40-60		Copo de 250 mL Junta-se tudo 20 min agitação		17,50