

ANÁLISE DA VERDURA DAS ACTIVIDADES LABORATORIAIS DO 10º ANO DO ENSINO SECUNDÁRIO

DOMINIQUE A. COSTA¹, M. GABRIELA T. C. RIBEIRO^{2*}
E ADÉLIO A. S. C. MACHADO¹

Apresenta-se uma análise da verdura das actividades laboratoriais propostas no programa de Química do 10º ano do Ensino Secundário, usando como instrumento de análise uma métrica de verdura, semi-quantitativa mas holística, recentemente desenvolvida, a Estrela Verde (EV). A análise permitiu confirmar a utilidade da EV para a avaliação da verdura de actividades laboratoriais e detectar as experiências do referido programa que devem ser revistas ou substituídas porque são problemáticas quanto à verdura, nomeadamente quanto à segurança.

Uma análise da literatura sobre a pedagogia da Química Verde (QV) [1] mostra que o principal objectivo do ensino da química segundo este novo paradigma é preparar os alunos, futuros cidadãos, para compreender e contribuir para o Desenvolvimento Sustentável – um objectivo razoável e aliciante, não só porque a QV é um veículo privilegiado para a aquisição de uma visão integrada da química com o meio ambiente e a economia, mas também porque pode contribuir para que se possa eliminar a visão negativista de muitos cidadãos sobre a química. Por exemplo, Hjeresen [2] refere a importância de usar a QV para envolver os jovens na preservação de um planeta saudável para as gerações futuras – ligando explicitamente o respectivo ensino à promoção do Desenvolvimento Sustentável. Também, Braun *et al* [3] referem que, com a inclusão da QV no ensino da Química desde o Ensino Básico, os alunos de todas as áreas, e não apenas os de ciências, terão oportunidades adicionais para relacionar a química com o mundo real. Para além disso, mesmo que muitos destes estudantes não venham a ser químicos, virão a ser profissionais que podem utilizar a QV e outras práticas sustentáveis a nível

científico, técnico, ético, político ou económico – até porque poderão fazê-lo mesmo como simples cidadãos [4]. Por outro lado, os profissionais que vão ser futuros químicos e engenheiros químicos têm de ser equipados com as ferramentas necessárias para suportar e promover proactivamente a Sustentabilidade – ou, mais pragmaticamente, devem estar preparados para vencer as barreiras que as indústrias enfrentam/enfrentarão para se adaptarem aos novos tipos de actividades e 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, que têm de incorporar no seu ensino novos conceitos e objectivos verdes, de forma a permitirem aos seus alunos uma visão inovadora da Química, mais optimista do que a que tem a sociedade actual, sem comprometer a integridade do conhecimento químico [5]. Em conclusão, há lugar para se realizar trabalho de investigação científico-pedagógico sobre o ensino da QV e a criação de ferramentas para este fim.

Neste Departamento, tem-se dado atenção ao ensino da QV, quer em cadeiras dirigidas ao seu ensino nos cursos de Química (nomeadamente “QV e Engenharia da Sustentabilidade” e “Química Industrial Verde”), quer por actividades realizadas na cadeira de “Didáctica da Química” e em Projec-

tos e Seminários de Estágio dirigidas aos alunos dos Cursos Educacionais, quer por desenvolvimento de um Doutoramento em curso por um dos autores (DAC), que visa o desenvolvimento de experiências laboratoriais que possibilitem a prática da QV no Ensino Secundário [6]. O presente estudo, que se integra nesta linha de trabalho, teve por objectivo avaliar a verdura [7] das actividades laboratoriais (AL) propostas nos programas da disciplina de Física e Química do 10º Ano A actualmente em vigor [8], utilizando uma métrica holística construída e apresentada recentemente – a Estrela Verde (EV) (“Green Star”, GS) [9, 10]. Mais concretamente, o estudo visou identificar as experiências que são problemáticas quanto à verdura, nomeadamente quanto à segurança, e formular algumas sugestões relativamente à sua melhoria ou substituição.

CONSTRUÇÃO DA EV

Como a EV está ainda em fase de divulgação [9, 10] começa-se por uma apresentação breve da sua filosofia e técnica de construção. Quanto à filosofia, a EV é uma métrica holística que entra em linha de conta simultaneamente com todos os Princípios da QV [11, 12], 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

* Autora para correspondência (gribeiro@fc.up.pt).

¹ Departamento de Química da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, R. Campo Alegre, 687, Porto 4169-007

² REQUIMTE, Departamento de Química da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, R. Campo Alegre, 687, Porto 4169-007

em que o comprimento de cada ponta é proporcional ao grau de cumprimento do respectivo princípio – uma visão semi-quantitativa da verdura pode ser obtida por apreciação visual, simples e imediata, da área da EV: a verdura é tanto maior quanto maior for a área. 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, resíduos formados, etc.

Para avaliar os riscos para a saúde e para o ambiente, inflamabilidade e reactividade, recolhem-se os símbolos indicativos das frases de risco/segurança usados na rotulagem das embalagens de todas estas substâncias e, ainda, informações sobre se constituem ou são obtidas de matérias-primas renováveis, bem como sobre a sua degradabilidade. A partir das informações obtidas, a cada substância são atribuídas pontuações numa escala de 1 (benignidade máxima) a 3, seguindo critérios que foram definidos

tendo em vista o objectivo e a exequibilidade de utilização, e que são apresentados na Tabela 1. Pontuam-se também as substâncias de acordo a sua degradabilidade e se são ou não provenientes de matérias-primas renováveis, seguindo os critérios também apresentados na mesma tabela. 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 2.

Tabela 1 Critérios para a classificação das substâncias para construção das EV (p_1 = pontuação)

a) Riscos para a saúde humana e o ambiente das substâncias envolvidas		
Riscos	Símbolos de risco	P_1
Saúde	C - corrosivo T - tóxico T* - muito tóxico	3
	Xn - prejudicial Xi - irritante	2
	Nenhuma indicação	1
Ambiente	N - perigoso para o ambiente	3
	Nenhuma indicação	1
b) Riscos de acidente das substâncias envolvidas		
Riscos	Símbolos de risco	
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
Reactividade	E - explosivo	3
	O - agente oxidante	3
	Nenhuma indicação	1
c) Degradabilidade e renovabilidade das substâncias envolvidas		
Características	Critérios	
Degradabilidade	Não degradáveis ou que não possam ser tratados para se obter a sua degradação em produtos de degradação inócuos	3
	Possam ser tratadas para obter degradação com produtos de degradação inócuos	2
	Degradáveis com produtos de degradação inócuos	1
Renovabilidade	Não renováveis	3
	Renováveis	1

Tabela 2 Componentes e pontuações para construção das EV (p_2 = pontuação)

Princípio da QV	Crítérios	P_2
P1 – Prevenção	Todos os resíduos são inócuos ($p_1=1$, tabela 1a)	3
	Resíduos que envolvam um risco moderado para a saúde e ambiente ($p_1=2$, tabela 1a, pelo menos para uma substância, sem substâncias com $p_1=3$)	2
	Formação de pelo menos um resíduo que envolva um risco elevado para a saúde e ambiente ($p_1=3$, tabela 1a)	1
P2- Economia atômica	Reacções sem reagentes em excesso (<10%) e sem formação de coprodutos	3
	Reacções sem reagentes em excesso (<10%) e com formação de coprodutos	2
	Reacções com reagentes em excesso (>10%) e sem formação de coprodutos	2
	Reacções com reagentes em excesso (>10%) e com formação de coprodutos	1
P3 – Sínteses menos perigosas	Todas as substâncias envolvidas são inócuas ($p_1=1$, tabela 1a)	3
	As substâncias envolvidas apresentam um risco moderado para a saúde e ambiente ($p_1=2$, tabela 1a, pelo menos para uma substância, sem substâncias com $p_1=3$)	2
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas apresenta um risco elevado para a saúde e ambiente ($p_1=3$, tabela 1a)	1
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	Os solventes e as substâncias auxiliares não existem ou são inócuos ($p_1=1$, tabela 1a)	3
	Os solventes e as substâncias auxiliares usadas envolvem um risco moderado para a saúde e ambiente ($p_1=2$, tabela 1a, pelo menos para uma substância, sem substâncias com $p_1=3$)	2
	Pelo menos um dos solventes ou uma das substâncias auxiliares usadas envolve um risco elevado para a saúde e ambiente ($p_1=3$, tabela 1a)	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/ou temperatura muito afastada da ambiental	1
P7 – Uso de matérias primas renováveis	Todos os reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos são renováveis ($p_1=1$, tabela 1c)	3
	Pelo menos um dos reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos é renovável, não se considera a água ($p_1=1$, tabela 1c)	2
	Nenhum dos reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos é renovável, não se considera a água ($p_1=3$, tabela 1c)	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	Não se usam catalisadores ou os catalisadores são inócuos ($p_1=1$, tabela 1a)	3
	Utilizam-se catalisadores que envolvem um risco moderado para a saúde e ambiente ($p_1=2$, tabela 1a)	2
	Utilizam catalisadores que envolvem um risco elevado para a saúde e ambiente ($p_1=3$, tabela 1a)	1
P10 – Planificação para a degradação	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis com os produtos de degradação inócuos ($p_1=1$, tabela 1c)	3
	Todas as substâncias envolvidas que não são degradáveis podem ser tratados para obter a sua degradação com os produtos de degradação inócuos ($p_1=2$, tabela 1c)	2
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas não é degradável nem pode ser tratado para obter a sua degradação com produtos de degradação inócuos ($p_1=3$, tabela 1c)	1
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	As substâncias envolvidas apresentam um baixo risco de acidente químico ($p_1=1$, tabela 1b)	3
	As substâncias envolvidas apresentam um risco moderado de acidente químico ($p_1=2$, tabela 1b, pelo menos para uma substância, sem substâncias com $p_1=3$)	2
	As substâncias envolvidas apresentam um risco elevado de acidente químico ($p_1=3$, tabela 1b)	1

Para o máximo de verdura, a pontuação será 3 para todos os princípios e obtém-se uma estrela de área (verdura) máxima, conforme se mostra na Fig. 1a.

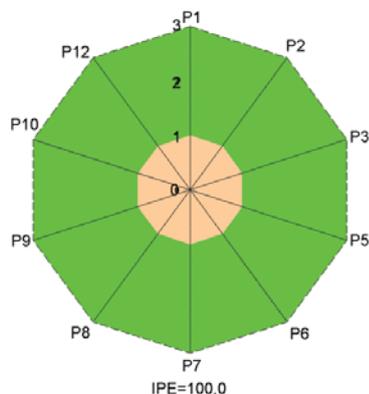


Figura 1a Estrela de verdura máxima

Quando a verdura é mínima a pontuação é de 1 para todos os princípios e a área verde da EV será nula (Fig. 1b).

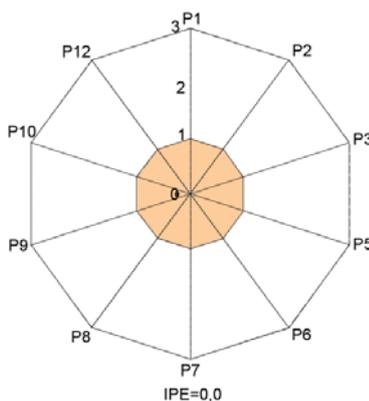


Figura 1b Estrela de verdura mínima

Nestas figuras, a EV é representada apenas com dez dimensões, cada uma referente a um princípio da QV – os quarto e décimo primeiro princípios foram excluídos, já que no ensino secundário não se costuma realizar a planificação de novos produtos químicos, à qual estes princípios se aplicam. Nas actividades laboratoriais analisadas adiante foi usada uma EV simplificada, pois foram excluídos os segundo, terceiro, oitavo e nono princípios, dirigidos à realização de reacções químicas, uma vez que nenhuma das actividades laboratoriais analisadas envolve reacções de síntese.

Como pode ser difícil a comparação visual das estrelas quando estas são usadas para avaliar o aumento de verdura na optimização de protocolos experimentais, calculou-se também a percentagem de área verde da estre-

la relativamente à área da estrela de verdura máxima, (100 x área verde da estrela/área verde da estrela de verdura máxima) – a que se chamou Índice de Preenchimento da Estrela (IPE). Para a estrela de verdura máxima, IPE=100, para a de mínima, IPE=0.

ACTIVIDADES LABORATORIAIS AVALIADAS

As actividades laboratoriais avaliadas, que correspondem à totalidade das actividades propostas no programa em vigor do 10º ano do Ensino Secundário, são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 Actividades laboratoriais avaliadas [8]

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

Separar os componentes de uma mistura por decantação, filtração e destilação simples e fraccionada

Actividade 1 - Separar os componentes de uma mistura de água, sal e solo

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

Actividade 2 - Separar uma gordura de uma solução aquosa

- Mistura de óleo ou azeite e água separada por decantação.
- Mistura de hexano e água separada por decantação.

Actividade 3 - Dessalinizar água do mar ou água salgada

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

Actividade 4 - Separar dois líquidos miscíveis

Uma mistura de água e acetona é separada por destilação fraccionada.

AL 1.1 - MEDIÇÃO EM QUÍMICA

Efectuam-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 de espectro, concluindo-se sobre o catião presente em cada amostra

Actividade 1 - Análise do cloreto de sódio

Actividade 2 - Análise do cloreto de bário

Actividade 3 - Análise do cloreto de cálcio

Actividade 4 - Análise do cloreto de potássio

Actividade 5 - Análise do cloreto de cobre(I)

Actividade 6 - Análise do cloreto de cobre(II)

Actividade 7 - Análise do cloreto de lítio

Actividade 8 - Análise do cloreto de estrôncio

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

Actividade 1 - Determinação da densidade e da densidade relativa de um sólido

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

Actividade 2 - Determinação da densidade e da densidade relativa de um líquido

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

Actividade 3 - Determinação do ponto de ebulição de um líquido

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

Actividade 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 COLÓIDES

Actividade 1 - Preparação de soluções

Preparam-se soluções aquosas de tiosulfato de sódio

Actividade 2 - Preparação de colóides

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

A partir dos dados coligidos do modo indicado atrás, recolheu-se informação acerca dos riscos para a saúde e para o ambiente, inflamabilidade, reactividade, etc., das substâncias envolvidas nas actividades (ver a Tabela 3).

Para cada uma das actividades foram construídas tabelas onde se indicam as características das componentes e pontuações para construir as EV, como por exemplo a Tabela 4 que se refere à actividade AL2.1. Na Fig. 2

apresentam-se as EV para cada uma das experiências avaliadas.

Tabela 3 Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas

Reagentes	Actividades	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	AL0.1 (4)	Xi, F	2	1	3
Ácido clorídrico	AL2.1(2b)	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}	AL0.1 (1, 2a, 2b, 3, 4), AL1.3 (1, 2a, 2b, 3a, 4b), AL2.1 (1, 2a, 2b)	-	1	1	1
Azeite ^{1,2}	AL0.1 (2a),	F	1	1	3
Cloreto de bário	AL1.2 (2)	T	3	1	3
Cloreto de cálcio ²	AL1.2 (3)	Xi	2	1	2
Cloreto de cobre (I)	AL1.2 (5)	Xn, N	2	3	2
Cloreto de cobre (II)	AL1.2 (6)	Xn, N	2	3	2
Cloreto de estrôncio	AL1.2 (8)	Xi	2	1	2
Cloreto de lítio	AL1.2 (7)	Xn	2	1	2
Cloreto de potássio	AL1.2 (4)	-	1	1	1
Cloreto de sódio ^{1,2}	AL0.1 (1, 3), AL1.2 (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	AL0.1 (2b)	Xn, F, N	2	3	3
Naftaleno	AL1.3 (4b)	Xn, N	2	3	2
Óleo de cozinha ^{1,2}	AL0.1 (2a)	F	1	1	3
Parafina	AL1.3 (4a)	-	1	1	1
Solo ^{1,2}	AL01 (1)	-	1	1	1
Tiosulfato de sódio pentahidratado	AL2.1(1, 2b)	-	1	1	1

¹ Renováveis

² Degradáveis com produtos de degradação inócuos

Tabela 4 Pontuações para construir as EV para as actividades laboratoriais AL2.1

Princípio da QV	EV17		EV18a		EV18b	
	p ₂	Explicação	p ₂	Explicação	p ₂	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, 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, 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), dióxido de enxofre (T, C)

AL 0.1 Separar e purificar – utilização de técnicas de separação de misturas							
EV 1 Actividade 1 (separar os componentes de uma mistura de água, sal e solo)	EV 2 a) Actividade 2a (separar óleo ou azeite da água)	EV 2b) Actividade 2b (separar hexano da água)	EV 3 Actividade 3 (dessalinizar água do mar)	EV 4 Actividade 4 (separar acetona da água)			
 87,5	 75,0	 25,0	 87,5	 25,0			
AL 1.2. Análise elementar por via seca							
EV 5 Actividade 1 NaCl	EV 6 Actividade 2 BaCl ₂	EV 7 Actividade 3 CaCl ₂	EV 8 Actividade 4 KCl	EV 9 Actividade 5 CuCl	EV 10 Actividade 6 CuCl ₂	EV 11 Actividade 7 LiCl	EV 12 Actividade 8 SrCl ₂
 75,5	 8,3	 35,4	 41,7	 12,5	 12,5	 22,9	 22,9
AL 1.3 Identificação de uma substância e avaliação da sua pureza							
EV 13 Actividade 1	EV 14a Actividade 2a água	EV 14b Actividade 2b etanol	EV 15a Actividade 3a água	EV 15b Actividade 3b etanol	EV 16a Actividade 4a enxofre	EV 16b Actividade 4b naftaleno	EV 16c Actividade 4c ác. salicílico
 58,3	 100,0	 41,7	 87,5	 33,3	 25,0	 20,8	 22,9
AL 2.1 – Soluções e colóides							
EV17 Actividade 1 Preparação da solução	EV 18a Actividade 2a Preparação do colóide 1	EV18b Actividade 2b Preparação do colóide 2					
 58,3	 41,7	 25,0					

Figura 2 Estrelas Verdes (os números por baixo das EV são os respectivos IPE)

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

AL 0.1 Separar e purificar – utilização de técnicas de separação de misturas. As diversas EV para este grupo mostram que para todas as actividades o quinto princípio tem a pontuação 3, por não se utilizarem substâncias auxiliares. Por mera comparação visual verifica-se que a EV apresenta

uma área próxima da máxima para as actividades 1 e 3, “separar os componentes de uma mistura de água, sal e solo” (EV1), e “dessalinizar a água do mar ou água salgada” (EV3), respectivamente. Nestas actividades 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

de 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 a actividade 2a, “separação do

óleo ou do azeite da água” (EV2a), a EV apresenta uma área verde mais reduzida. Embora a pontuação do sexto princípio seja 3, pois a experiência é realizada à temperatura ambiente, a pontuação do décimo segundo princípio é 1, atendendo a que o óleo e o azeite são inflamáveis. Para as actividades 2b e 4, “separar hexano da água” (EV2b), e “separar água da acetona” (EV4), respectivamente, a área da EV é muito reduzida. Na primeira actividade, 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 actividade 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 actividade 2b é realizada à temperatura ambiente a pontuação do sexto princípio é máxima, mas para a actividade 4 essa pontuação é reduzida para 2, pois esta envolve uma destilação. No sentido de aumentar a verdura destas duas actividades laboratoriais poderia eliminar-se o hexano na actividade 2b e substituir a acetona por etanol na actividade 4, sem prejuízo dos objectivos propostos.

AL 1.1 - Medição em Química. Nesta actividade não foi construída qualquer EV, pois apenas se efectuam medições de volume, massa e temperatura.

AL 1.2 - Análise elementar por via seca. As diversas EV para este grupo mostram que para todas as actividades o sexto princípio tem a pontuação 1 e o quinto princípio 3, pois as experiências decorrem a uma temperatura muito afastada da temperatura ambiente e não se utilizam substâncias auxiliares, respectivamente. No que se refere ao sétimo e décimo princípios a pontuação é sempre 1, excepto para as actividades 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, respectivamente, da benignidade e do risco de acidente químico apresentado pelas diversas substâncias usadas.

A EV apresenta uma área verde elevada para a actividade 1, “análise do cloreto de sódio” (EV5), 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. Para a actividade 4, “análise do cloreto de potássio” (EV8), 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 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 actividades 3, 7 e 8, “análise do cloreto de cálcio” (EV7), “análise do cloreto de lítio” (EV11) e “análise do cloreto de estrôncio” (EV12), 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 actividade 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 actividades 7 e 8, em que os cloretos de lítio e estrôncio envolvidos não são degradáveis. Para as actividades 5 e 6, “análise do cloreto de cobre(I)” (EV9) e “análise do cloreto de cobre(II)” (EV10), as áreas das EV são muito reduzidas. Nestas actividades 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 actividade 2, “análise do cloreto de bário” (EV2), 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. Seria aconselhável não utilizar o cloreto de bário, atendendo à sua toxicidade (T), nem os cloretos de cobre(I) e (II), atendendo aos riscos que apresentam para o ambiente (N). A utilização de apenas as outras quatro substâncias parece não colocar em causa os objectivos propostos para a actividade.

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

As diversas EV para este grupo mostram que, para todas as actividades, o quinto princípio tem a pontuação 3 por não se utilizarem substâncias auxiliares ou, quando usadas, serem inócuas. Para as actividades em que se determinam densidades, actividades 1 e 2, as experiências são realizadas à pressão e temperatura ambiente e a pontuação para o sexto princípio é 3. Para as actividades 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 e 1 se exceder. A pontuação dos sétimo e décimo princípios reduz-se a 1 para todas as actividades, excepto para as actividades 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, respectivamente, 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 actividade 2a, “determinação da densidade da água” (EV14a), em que a pontuação é de 3 para todos os princípios, já que a única substância usada é a água. Para a actividade 3a, “determinação do ponto de ebulição da água” (EV15a), a EV apresenta uma área verde mais reduzida, pois a pontuação do o sexto princípio é reduzida para 2 (experiência a temperatura superior à ambiente). Para a actividade 1, “determinação da densidade e da densidade relativa de um sólido” (EV13), a EV apresenta uma área verde mais reduzida. Usam-se

sólidos, com a forma de cubos/esferas, constituídos por metais (cobre, chumbo, alumínio e latão) que são reutilizados, não dando origem a resíduos. 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 actividade 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 actividades 2b, 3b e 4a, “determinação da densidade do etanol” (EV14b), “determinação do ponto de ebulição do etanol” (EV15b), e “determinação do ponto de fusão do enxofre” (EV16a), respectivamente, a área verde é reduzida. 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 actividade 4c, “determinação do ponto de fusão do ácido salicílico” (EV16c), a EV apresenta uma área verde 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 actividade 4b, “determinação do ponto de fusão do naftaleno” (EV16b), a EV apresenta uma área muito baixa. 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. Seria aconselhável não utilizar o naftaleno atendendo aos riscos que apresenta.

AL 2.1 - Soluções e colóides. 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 actividade 1, “preparação da solução de tiosulfato de sódio” (EV17), apresenta uma área verde superior a 50% da máxima. 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 actividade 2a, “preparação do colóide 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 actividade 2b, “preparação do colóide 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.

Discussão final. A análise anterior comprova a utilidade da EV para a avaliação da veracidade de actividades laboratoriais de nível mais elementar do que as que foram descritas nos artigos em que a métrica foi apresentada [9, 10]. Nomeadamente, a EV pode ser usada na avaliação prévia da veracidade de uma experiência a partir do respectivo protocolo, sem ser necessário realizá-la; permite uma avaliação semi-quantitativa da veracidade por mera análise visual (sem prejuízo da utilização do valor numérico do IPE) e a detecção dos aspectos responsáveis pela falta de veracidade e que podem ser revistos com vista à optimização desta; e é de construção simples, embora nem sempre seja possível obter todas as informações requeridas, nomeadamente no que se refere à degradabilidade das substâncias. Além disso, como a EV é sensível aos diversos factores que devem ser considerados quando se discute a veracidade de uma reacção, pois atende aos Doze Princípios da QV de forma global e sistemática, é uma métrica holística que proporciona uma avaliação de espectro largo. No gráfico da Fig. 3 resumem-se os resultados

obtidos na análise anterior mediante uma distribuição da frequência das experiências em função do respectivo IPE. O gráfico mostra que dois terços (16 em 24) das actividades laboratoriais apresentaram uma veracidade baixa (IPE < 50), o que aponta para a necessidade de sua revisão. Não foi objectivo deste artigo discutir os princípios orientadores que levaram à concepção dos actuais programas do Ensino Secundário nem as opções tomadas relativamente aos temas escolhidos para as experiências, mas simplesmente avaliar a veracidade das actividades laboratoriais propostas. Por essa razão não se sugerem actividades alternativas, embora se tenham indicado atrás algumas sugestões para melhorar a benignidade das experiências, nomeadamente para aumentar a segurança. Para este fim, devem eliminar-se actividades que envolvam a utilização de substâncias com risco elevado para a saúde (símbolos de rotulagem T, T⁺, C) e para o ambiente (N). As experiências laboratoriais devem permitir aos alunos aprender química utilizando reagentes benignos, sem prejuízo de os ensinar a identificar reagentes perigosos e a procurar alternativas intrinsecamente benignas. É de referir que estão disponíveis, em português, fichas de dados de segurança de produtos químicos (MSDS - a sigla abrevia a designação “Material Safety Data Sheet”) [13], cuja consulta deve ser incentivada no Ensino Secundário desde tão cedo quanto possível [14]. A utilização nos laboratórios de ensino de substâncias apenas inócuas 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 projecto de desenvolvimento do ensino da QV [15]. 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 [16] refere a importância de embutir veracidade nas caixas de ex-

periências (“quits”) de química usadas como brinquedos, consideradas muito importantes no despertar de vocações para a química e também usadas na “educação a distância” por alunos que estudam em casa [17].

estão numa fase inicial de aprendizagem de práticas laboratoriais, quer da sua consciencialização, tão precoce quanto possível, para o facto de a química envolver variados problemas de segurança – cuja ocorrência deve

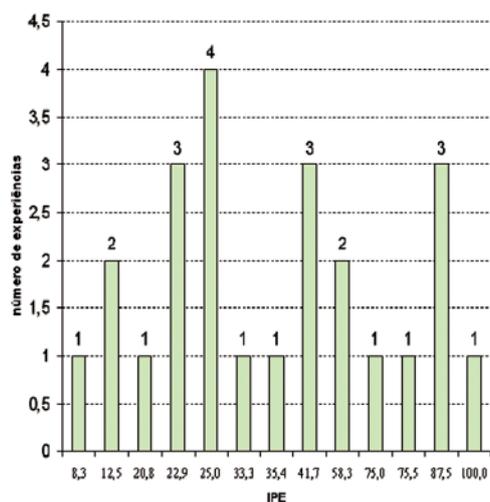


Figura 3 Frequência das experiências em função do IPE

Finalmente, uma observação lateral, mas que parece demasiado importante para ser omitida. Uma lacuna que se sente na componente laboratorial do programa de 10º ano é a total ausência de experiências de síntese, tanto mais de lamentar porque as técnicas laboratoriais, que monopolizam presentemente as actividades de laboratório propostas, podem ser facilmente integradas em experiências de química preparativa. A síntese corresponde à actividade que mais valias económicas traz à química antropogénica do mundo real e domina a Química Industrial. Aliás, os efeitos nocivos da química resultam fundamentalmente da sua prática à escala industrial e o ensino da química focado na Química Industrial permite explicitar mais ampla e incisivamente os objectivos da QV em termos do Desenvolvimento Sustentável.

CONCLUSÕES

Uma parte significativa das experiências laboratoriais prescritas no programa de química do 10º ano em vigor não são adequadas para integrar o ensino daquela ciência no âmbito do paradigma da QV e mostram mesmo alguns aspectos negativos quanto a riscos dos reagentes usados em termos de segurança. Embora a QV não se esgote na perseguição exclusiva da segurança, esta tem muita importância em termos quer da protecção dos alunos, particularmente quando estes

estar sempre presente na mente dos profissionais de química (e não só). As deficiências detectadas devem merecer especial atenção, porque a utilização de experiências de elevada veracidade significa segurança intrínseca, logo menos restrições à sua realização em escolas do ensino secundário com laboratórios pior preparados para garantir segurança (por exemplo, sem ventilação ou com “hottes” em número limitado) – e, portanto, permite proporcionar aos estudantes do secundário um acesso mais alargado e com menores custos a experiências de química, o que pode ser muito importante para os motivar para seguirem actividades profissionais no domínio da química. Em suma, química mais verde, significa química que pode ser mais facilmente praticada em laboratório – e mais amplamente divulgada pela via experimental.

REFERÊNCIAS

[1] P. Anastas, F. Wood-Black, T. Masciangioli, E. McGowan, L. Ruth (ed.), *Exploring Opportunities in Green Chemistry and Engineering Education – A Workshop to the Chemical Sciences Roundtable*, The National Academy Press, Washington, 2007.

[2] D. L. Hjeresen, D. L. Schutt, J. M. Boese, “Green Chemistry and Education”, *J. Chem. Ed.* **82** (2005) 1543.

[3] B. Braun, R. Charney, A. Clarens, J. Farrugia, C. Kichens, C. Lisowski, D.

Naistat, A. O’Neil, “Green Chemistry in the Curriculum”, *J. Chem. Ed.* **83** (2006) 1126-1129.

[4] M. C. Cann, 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.

[5] T. J. Collins, “Introducing Green Chemistry in Teaching and Research”, *J. Chem. Ed.* **72** (1995) 965-966.

[6] D. A. Costa, M. G. T. C. Ribeiro, A. A. S. C. Machado, “Uma Revisão da Bibliografia sobre o Ensino da Química Verde”, *Química - Bol. S. P. Q.* **109** (2008) 47-51.

[7] A. A. S. C. Machado, “Métricas da Química Verde – A Produtividade Atómica”, *Química - Bol. S. P. Q.* **107** (2007) 47-55.

[8] DGIDC Web: http://sitio.dgdc.min-edu.pt/secundario/paginas/programas_es_f.asp (Direcção Geral de Inovação e Desenvolvimento Curricular, acedido em 13-12-2009)

[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*, aceite para publicação.

[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”, *GC Letters & Reviews*, aceite para publicação.

[11] P. T. Anastas, J. C. Warner; *Green Chemistry – Theory and Practice*, Oxford P., Oxford, 1998.

[12] A. A. S. C. Machado, “Química e Desenvolvimento Sustentável – QV, QUIVES, QUISUS”, *Química - Bol. S. P. Q.* **95** (2004) 59-67.

[13] Web: <http://www.sigmaaldrich.com/portugal.html> (Sigma-Aldrich, acedido em 13-12-2009)

[14] S. M. Wright, “Introducing Safety Topics Using a Student-Centered Approach”, *J. Chem. Ed.* **82** (2005) 1519-1520.

[15] Web: <http://www.djc.com/news/en/11135656.html> (Environmental Outlook 2002, acedido em 13-12-2009)

[16] Y. I. Gonzalez, “A Green Clean Curriculum to Instruct Homeschoolers on the Safe Handling of Chemicals”, *J. Chem. Health Saf.* **16** (2004) 12-17.

[17] 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.