Análise da Verdura das Actividades Laboratoriais do 11º Ano do Ensino Secundário

Dominique A. Costa[1], M. Gabriela T. C. Ribeiro[1,*] e Adélio A. S. C. Machado[2]

Apresenta-se uma análise da verdura das actividades laboratoriais propostas no programa de Química de 11º ano do Ensino Secundário, usando como instrumento de análise a Estrela Verde (EV), uma métrica de verdura semi-quantitativa, mas holística. A análise revelou que uma parte das experiências pode provocar problemas de segurança e de saúde dos alunos e do ambiente, semelhantemente ao que foi encontrado num estudo anterior sobre o 10º ano. Uma análise conjunta das actividades laboratoriais dos dois anos mostra que a maior parte das experiências apresenta uma verdura limitada, o que releva a importância de incorporar a Química Verde (QV) no ensino da química. Mais pragmaticamente, o estudo permitiu detectar as experiências mais problemáticas que devem ser revistas.

Num artigo anterior [1], avaliou-se a verdura das actividades laboratoriais de química (AL) propostas nos programas em vigor [2] da disciplina de Física e Química do 10º ano A. O presente artigo tem dois objectivos. Primeiro, dar continuidade ao anterior, apresentando a avaliação da verdura das AL do 11º ano, realizada com o mesmo instrumento de avaliação, a Estrela Verde (EV) ("Green Star", GS), cujos princípios e operação foram descritos anteriormente [1, 3-5].

Um segundo objectivo do artigo é usar globalmente os resultados obtidos nos dois estudos para caracterizar alguns aspectos negativos dos programas em vigor do 10º e 11º anos, em particular, identificar as experiências mais problemáticas que devem ser revistas, alertando os professores que presentemente as realizam para os riscos em jogo; e avançar com sugestões que permitam alterar a postura do ensino da química para a prescrita pelo paradigma ecológico do Desenvolvimento Sustentável, implementado no âmbito daquela ciência pela Química Verde (QV).

Avaliação das Actividades Laboratoriais

As actividades laboratoriais avaliadas, a totalidade das actividades propostas no programa em vigor do 11º ano do Ensino Secundário, são apresentadas nos Quadros 1 e 2, referentes às duas unidades que o constituem.

O trabalho foi realizado como descrito em [1], consistindo, para cada experiência, na construção de uma EV de tantas pontas quantos os princípios dos Doze Princípios da QV (ver Caixa 3 em [6]) relevantes (dez nas experiências de síntese e seis nas outras), sendo o comprimento de cada ponta tanto maior quanto melhor for o cumprimento do respectivo princípio, e cálculo da percentagem de área verde da estrela, tanto mais cheia quanto maior for a verdura, relativamente à área de uma estrela de verdura máxima – Índice de Preenchimento da Estrela (IPE). Quanto maior for o valor de IPE, maior será a verdura, cem para a estrela de verdura máxima e zero para a estrela de verdura mínima.

A informação acerca dos riscos para a saúde e para o ambiente, inflamabilidade, reactividade, etc., dos reagentes envolvidos é apresentada na Tabela 1. Os reagentes classificados de degradáveis foram-no com base nas informações recolhidas nas fichas de dados de segurança de produtos químicos (MSDS) da Merck [7]. Quando o programa indica a utilização de materiais do quotidiano, foram escolhidos materiais que continham na embalagem a indicação de que são biodegradáveis. Nas actividades em que se usam soluções aquosas de sais, consideraram-se as soluções como reagentes, partindo do princípio que foram preparadas previamente. Na actividade AL 2.5 consideram-se os solventes como reagentes, e não como substâncias auxiliares, porque em parte das experiências são usados alternativamente, não só como solventes, mas também como solutos. Quando o programa indica a concentração das soluções, essa foi a considerada na classificação dos riscos, quando é omisso consideraram-se concentrações que minimizassem os riscos envolvidos, sem afectar a realização da actividade com os objectivos propostos. Por exemplo, na actividade AL 1.1 o programa não indica a concentração das soluções de amoníaco e de hidróxido de sódio e o sal de amónio a utilizar. Verificou-se experimentalmente que era possível usar soluções de hidróxido de sódio 0,1 mol dm^{-3} e de amoníaco a 5% m/m e utilizou-se o acetato de amónio, atendendo ao baixo risco deste composto. Com os dados obtidos, construiu-se uma tabela de pontuação dos Princípios da QV [1] relevantes para cada experiência para construir a respectiva EV. Utilizou-se a EV simplificada (seis pontas) [1] para todas as actividades, excepto para a AL1.2 (síntese do sulfato de tetraaminacobre (II) monoidratado) que envolve uma síntese, pelo que exige uma estrela de dez pontas [3]. Nas figuras 1 e 2 apresentam-se as EV para cada uma das experiências avaliadas.

[1] REQUIMTE, Departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, R. Campo Alegre, 687, Porto 4169-007
[2] Departamento de Química e Bioquímica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, R. Campo Alegre, 687, Porto 4169-007
* E-mail: gribeiro@fc.up.pt

Quadro 1 – Actividades laboratoriais da unidade "Química e Indústria: Equilíbrios e Desequilíbrios" [2]

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 reacção com cloreto de hidrogénio.

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

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

Teste D – Identificação pela formação do ião complexo tetraminocobre(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 reacção 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 reacção
Estuda-se o efeito da variação da temperatura e da concentração no equilíbrio homogéneo:
$[CoCl_4]^{2-}$ (aq)+ 6 H_2O (l) $\rightleftharpoons$ $[Co(H_2O)_6]^{2+}$ (aq) + 4 Cl^-

Actividade 1 – Efeito da variação da temperatura
Aquecimento em banho de água e arrefecimento em banho de gelo.

Actividade 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 2 – Actividades laboratoriais da unidade "Da Atmosfera ao Oceano: Soluções na Terra e para a Terra" [2]

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

Actividade 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.

Actividade 2 – Medição do pH de uma solução
Procede-se à leitura do valor de pH utilizando um medidor de pH electrónico ou um sensor.

Actividade 3 – Apreciação do efeito da temperatura no pH de uma solução
Procede-se à leitura do valor de pH, utilizando um medidor de pH electrónico ou um sensor, às temperaturas ambiente e de 60ºC.

AL 2.2 – Chuva "normal" e chuva ácida

Actividade 1 – Verificar a variação do pH da água quando se faz borbulhar CO_2 ou SO_2
a) Produção de CO_2 (através da reacção entre ácido clorídrico e carbonato de cálcio).
b) Produção de SO_2 (através da reacção entre sulfito de sódio e ácido sulfúrico).

Actividade 2 – Força relativa de ácidos e concentração das soluções respectivas
A) Procede-se à adição de vários volumes de um ácido forte a vários tipos de água e mede-se o respectivo pH:
a) ácido clorídrico; e **b)** 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 respectivo pH.

AL 2.3 – Neutralização: uma reacção de ácido-base

Actividade 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.

Actividade 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 electrónico ou um sensor, traça-se a curva de titulação e calcula-se a concentração desconhecida do ácido.

AL 2.4 – Série electroquímica: o caso dos metais
Procede-se ao contacto de quatro metais (M = Cu, Zn, Al, Mg) com soluções aquosas de nitratos contendo os catiões dos outros metais e verifica-se se há ocorrência de reacção química: **a)** $Cu/Zn(NO_3)_2$ (aq); **b)** $Al/Zn(NO_3)_2$ (aq); **c)** $Mg/Zn(NO_3)_2$ (aq); **d)** $Zn/Cu(NO_3)_2$ (aq); **e)** $Al/Cu(NO_3)_2$ (aq); **f)** $Mg/Cu(NO_3)_2$ (aq); **g)** $Mg/Al(NO_3)_3$ (aq); **h)** $Cu/Al(NO_3)_3$ (aq); **i)** $Zn/Al(NO_3)_3$ (aq); **j)** $Cu/Mg(NO_3)_3$ (aq); **k)** $Zn/Mg(NO_3)_2$ (aq); e **l)** $Al/Mg(NO_3)_2$ (aq)

– continua –

– continuação –

AL 2.5 – Solubilidade: solutos e solventes

Actividade 1 – Solubilidade de diferentes sais em diferentes solventes
Solutos: **a)** cloreto de sódio; **b)** cloreto de cálcio; **c)** carbonato de cálcio; **d)** iodo; **e)** heptano; **f)** etanol; e **g)** hexano.
Actividade 1.1 - Solvente: água. Actividade 1.2 - Solvente: etanol. Actividade 1.3 - Solvente: hexano.

Actividade 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

Actividade 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.

Actividade 2 – Avaliação da dureza da água amaciada
Adiciona-se carbonato de sódio à água dura, diminuindo a concentração de iões Ca^{2+} ou Mg^{2+} 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 1 – Riscos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas

Reagentes	Actividade	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 amónio	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 amónio	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

– continua –

– continuação –

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(1c)	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; Xi – irritante, Xn – prejudicial, T – tóxico, T^+ - muito tóxico, C – corrosivo, O – agente oxidante, F – muito inflamável, F^+ - extremamente inflamável; N – perigoso para o meio ambiente.

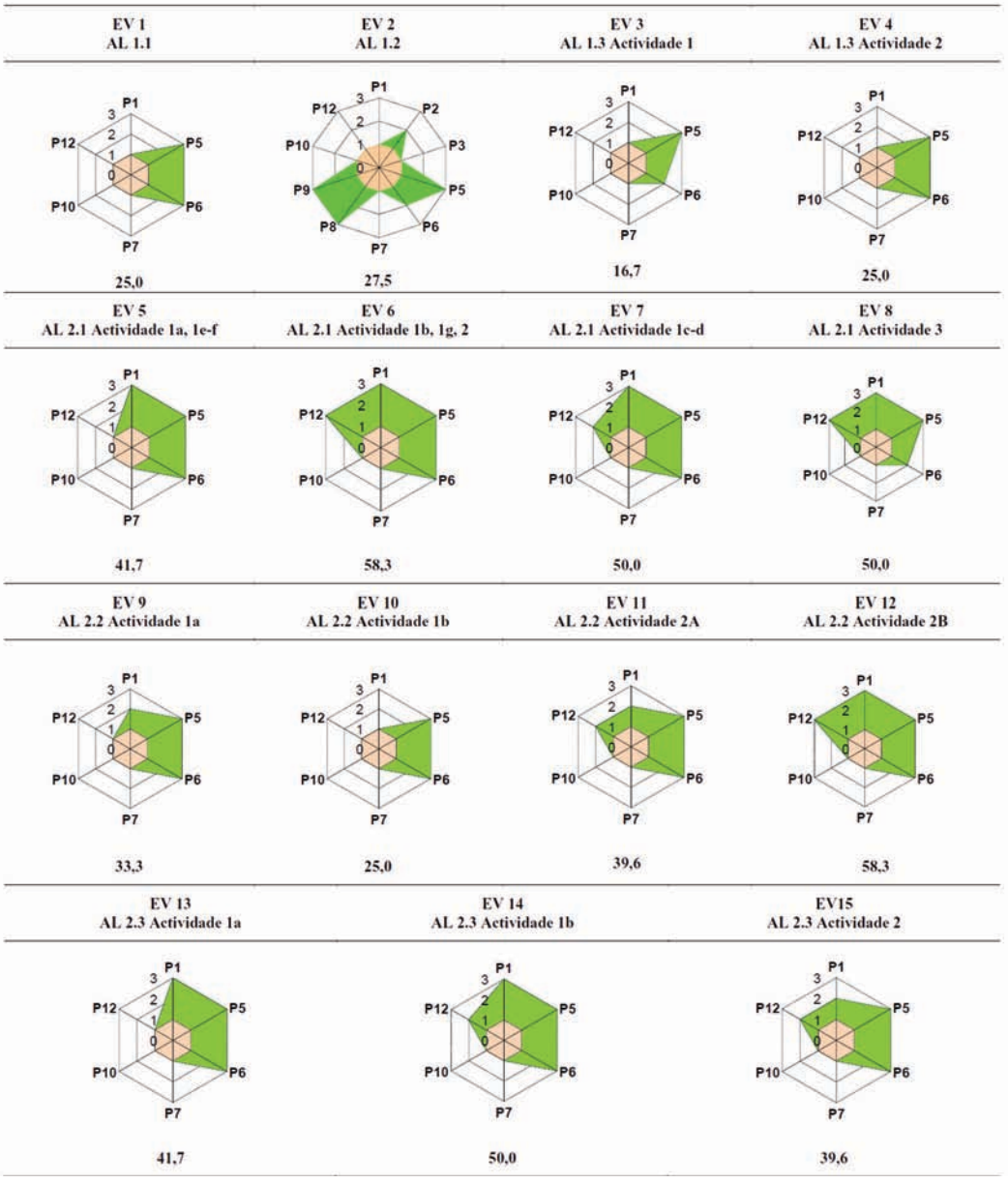
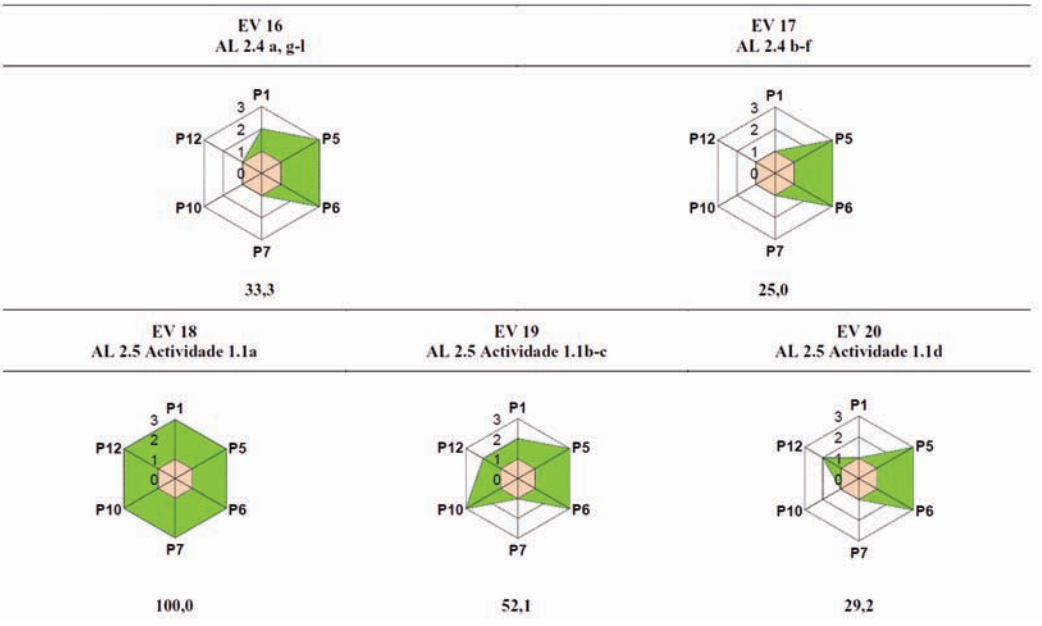


Figura 1 – Estrelas Verdes EV1-EV15 (os valores por baixo das EV são os respectivos Índices de Preenchimento da Estrela, IPE [1, 3-5])



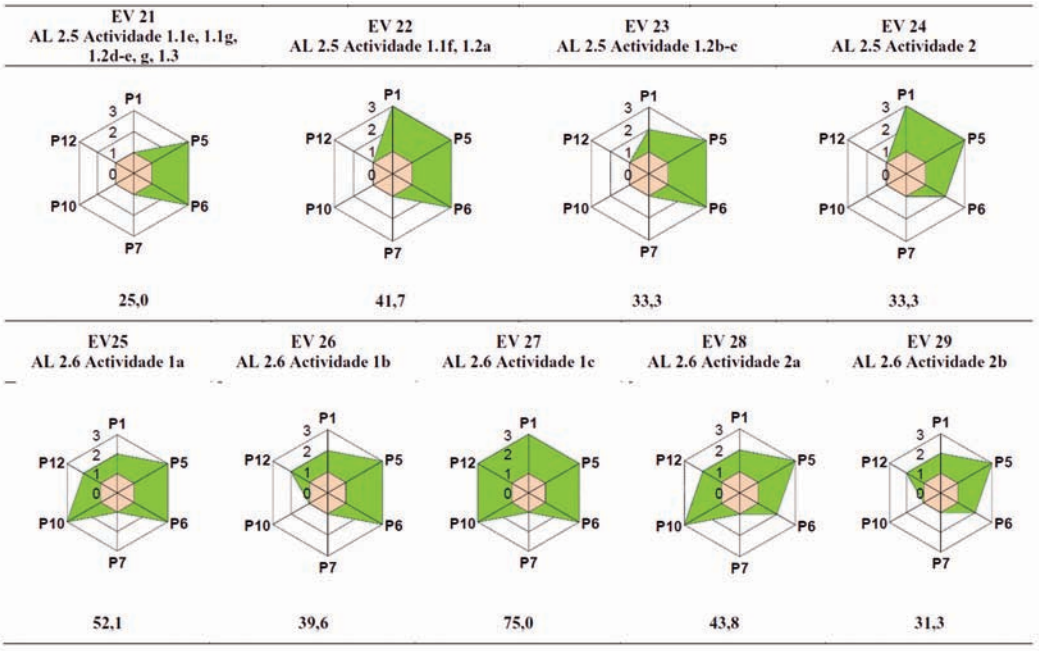


Figura 2 – Estrelas Verdes EV16-EV29 (os valores por baixo das EV são os respectivos Índices de Preenchimento da Estrela, IPE [1, 3-5])

Discussão dos Resultados

Uma apreciação global das EV nas Figuras 1 e 2 revela desde logo que muitas das experiências do programa do 11º ano têm severas limitações quanto à verdura, nomeadamente quanto à benignidade de realização (reagentes, condições, etc.). A discussão a seguir incide prioritariamente sobre este aspecto.

AL 1.1 Amoníaco e compostos de amónio em materiais de uso comum. As EV são iguais para todas as actividades deste grupo (EV1). A pontuação é 3 para os princípios P5 e P6 (para designação dos princípios ver [6]) por não se utilizarem substâncias auxiliares (consideraram-se as soluções como reagentes e a água respectiva não foi considerada substância auxiliar) e as experiências serem realizadas a pressão e temperatura ambientais. Todos os outros princípios têm pontuação 1. Nestas actividades não se utilizam substâncias renováveis nem degradáveis (princípios P7 e P10) e as substâncias envolvidas, ácido clorídrico concentrado (C), amoníaco gasoso (T, N), reagente de Nessler (T^+, N) e sulfato de cobre (N), apresentam riscos elevados para a saúde e ambiente (P1) e riscos elevados de acidente (P12) . 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 (ver valores acima) seria aconselhável para, em situação escolar, se evitar a utilização de soluções mais concentradas do que necessário e de sais de amónio com riscos.

AL 1.2 Síntese do sulfato de tetraaminacobre(II) monoidratado. Como se trata de uma síntese, avaliam-se dez Princípios [3] (EV2). Os princípios P5, P8 e P9 têm a pontuação 3, atendendo a que o solvente utilizado, etanol (F), não envolve riscos para a saúde (P5), não é realizada nenhuma derivatização durante o processo de síntese (P8) e não são utilizados catalisadores (P9). A pontuação dos princípios P2 e P6 reduz-se a 2 por se utilizar excesso de amoníaco (P2) e ser necessário arrefecer a mistura reaccional para cristalizar o produto (P6). Os princípios P1 e P3 têm a pontuação 1, pois o amoníaco (C, N) e o sulfato de cobre (N) envolvem riscos elevados para a saúde e ambiente. A pontuação dos princípios P7 e P10 reduz-se também a 1, pois as substâncias utilizadas não são renováveis nem degradáveis a produtos inócuos; bem como a do princípio P12, pois o amoníaco (C) e etanol (F) apresentam riscos elevados de acidente. A verdura desta síntese foi discutida pormenorizadamente em [3]. A EV mostra que seria preferível a sua substituição por outra síntese que envolvesse substâncias mais benignas.

AL 1.3 Efeitos da temperatura e da concentração na progressão global de uma reacção. Para este grupo, a EV da primeira actividade (EV3) só difere da EV da segunda (EV4) na pontuação do princípio P6 pois, sendo necessário aquecer a mistura reaccional, é reduzida a 2. Para os princípios P1 e P12 a pontuação é 1, pois o cloreto de cobalto (T, N) envolve riscos elevados para a saúde, ambiente e de acidente químico. O mesmo sucede para os princípios P7 e P10, porque as substâncias utilizadas não são renováveis, nem degradáveis a produtos inócuos. Seria preferível a utilização de actividades que não envolvessem compostos com riscos tão elevados.

AL 2.1 Ácido ou base: classificação de alguns materiais. As EV para as diversas actividades deste grupo só diferem na pontuação dos princípios P6 e P12. P6 tem a pontuação 3 para todas as EV, excepto para actividade 3 (EV8), em que a pontuação é reduzida a 2, pois a experiência decorre a uma temperatura superior à temperatura ambiente. O princípio P12 tem pontuação inferior a 3 quando os indicadores ácido-base utilizados apresentam riscos de acidente químico (2 – risco moderado, 1 – risco elevado): fenolftaleína, T, actividade 1a (EV5);

tornesol, Xn e carmim de índigo, Xn, actividades 1c e 1d (EV7); indicador universal, F, e alaranjado de metilo, T, actividades 1e e 1f (EV5). Quando os indicadores não apresentam riscos de acidente (actividades 1b e 1g – azul de bromofenol e vermelho de metilo), ou quando não são usados (actividade 2), a pontuação é 3 (EV6). Os princípios P1 e P5 têm sempre a pontuação 3, uma vez que os residuos formados são inócuos (P1) (os indicadores foram utilizados em quantidades muito reduzidas, 2 gotas, apresentando-se muito diluídos nos resíduos) e não se utilizam substâncias auxiliares (P5). Os princípios P7 e P10 têm pontuação 1 para todas as actividades, pois as substâncias utilizadas não são renováveis, nem degradáveis a produtos inócuos.

AL 2.2 Chuva "normal" e chuva ácida. Os princípios P5 e P6 têm pontuação 3 para todas as actividades deste grupo, pois as substâncias auxiliares utilizadas (soluções padrão de calibração) são inócuas (P5) e as experiências realizam-se a pressão e temperatura ambientais (P6). Por outro lado, os princípios P7 e P10 têm sempre pontuação 1, pois pelo menos uma das substâncias utilizadas não é renovável, nem degradável a produtos inócuos. Por mera comparação visual, verifica-se que a EV para a actividade 2B (EV12) apresenta uma área verde superior. A pontuação é 3 para os princípios P1 e P12 atendendo a que todos os resíduos formados são inócuos (P1) e as substâncias envolvidas apresentam um baixo risco de acidente (P12). Para a actividade 2A (EV11), a pontuação dos princípios P1 e P12 reduz-se a 2, pois os ácidos, nas concentrações em que são usados, apresentam risco moderado para a saúde e de acidente químico (Xi). Para a actividade 1a (EV9), em que ocorre produção de CO_2, o princípio P1 tem a pontuação 2, pois o cloreto de cálcio (Xi) envolve riscos moderados para a saúde, e o princípio P12 tem a pontação 1, pois o indicador universal (F) envolve riscos elevados de acidente químico. Para a actividade 1b (EV10), que produz SO_2, a área da EV é a menor do grupo, pois os riscos para a saúde e de acidente químico são elevados, o que leva à redução da pontuação dos princípios P1 e P12 para 1 (dióxido de enxofre (T) e indicador universal (F)).

AL 2.3 Neutralização: uma reacção de ácido-base. Para todas as actividades deste grupo, os princípios P5 e P6 têm a pontuação 3, pois as substâncias auxiliares utilizadas são inócuas (soluções padrão de calibração) (P5) e as actividades são realizadas à temperatura e pressão ambientais (P6). Por outro lado, a pontuação para os princípios P7 e P10 reduz-se a 1 para todas as EV, pois as substâncias utilizadas não são renováveis (P7), nem degradáveis a produtos inócuos (P10). As EV diferem na pontuação dos princípios P1 e P12. Para as actividades 1a (EV13) e 1b (EV14), P1 tem a pontuação 3, pois os resíduos formados são inócuos (são de indicadores muito diluídos, ver atrás), mas reduz-se a 2 na actividade 2 (EV15), pois no fim da titulação existe excesso de hidróxido de sódio (Xi) no titulado (resíduo). O princípio P12 tem a pontuação 2 para as actividades 1b (EV14) e 2 (EV15), porque o hidróxido de sódio (Xi) envolve um risco moderado de acidente químico, e a pontuação é reduzida a 1 para a actividade 1a (EV13), porque se utiliza fenolftaleína (T), que apresenta um risco elevado de acidente químico. Atendendo às EV obtidas seria preferível utilizar azul de bromotimol, substância que não apresenta riscos, aliás o mais indicado, atendendo à zona de viragem.

AL 2.4 Série electroquímica: o caso dos metais. Para todas as EV deste grupo os princípios P5 e P6 têm a pontuação 3, por não se utilizarem substâncias auxiliares e as experiências serem realizadas a pressão e temperatura ambientais. Por outro lado, para todas as EV, a pontuação dos princípios P7, P10 e P12 reduz-se a 1, pois as substâncias utilizadas não são renováveis (P7), nem degradáveis a produtos inócuos (P10) e as soluções de nitratos metálicos (O) envolvem um elevado risco de acidente químico (P12). A pontuação para o princípio P1 depende da benignidade das diversas substâncias usadas, sendo: 2 para as actividades a e g-l (EV16) pois os nitrato de zinco (Xi), de alumínio (Xi) e de magnésio (Xi) envolvem um risco moderado para a saúde; e 1 para as actividades b-f (EV17), pois forma-se um precipitado de zinco finamente dividido (N) que envolve um risco elevado para o ambiente (os metais que se formaram por redução foram considerados resíduos), e porque o nitrato de cobre (C) envolve um risco elevado para a saúde.

AL 2.5 Solubilidade: solutos e solventes. Nas experiências da actividade 1 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. Como não se usam substâncias auxiliares e as experiências se realizam a temperatura e pressão ambiente, a pontuação dos princípios P5 e P6 é sempre 3. Nestas condições, as EV das experiências variam conforme os riscos que os pares soluto/solvente envolvem, o que determina a pontuação dos princípios P1 e P12. Por outro lado, a pontuação dos princípios P7 e P10 resulta da renovabilidade e/ou degradabilidade dos mesmos. Para a actividade 1.1a (EV18), como as substâncias do par cloreto de sódio/água não envolvem riscos e são renováveis e degradáveis, todos os princípios têm pontuação 3. Para as actividades 1.1b e 1.1c (EV19), que envolvem os pares cloreto de cálcio (Xi, degradável)/água e carbonato de cálcio (Xi, degradável)/água, respectivamente, a pontuação do princípio P10 é 3, a pontuação dos princípios P1 e P12 é reduzida a 2 e a pontuação do princípio P7 é 1, porque pelo menos uma das substâncias dos pares soluto/solvente não é renovável. Para as restantes experiências da actividade 1, os princípios P7 e P10 são sempre pontuados 1. Para as actividades 1.1d-g, em que o solvente é água, a pontuação dos princípios P1 e P12 depende dos riscos do soluto: para o iodo (Xn, N), actividade 1.1d (EV20), a pontuação é 1 para o princípio P1 e 2 para o P12, para o heptano e hexano (Xn, F, N), actividades 1.1e-g (EV21), a pontuação é 1 para os princípios P1 e P12; finalmente, para o etanol (F), actividade 1.1f (EV22), a pontuação é de 3 para P1 e 1 para P12. Para as actividades 1.2, em que o solvente é o etanol (F), a pontuação para o princípio P12 é sempre 1, seja qual for o soluto. A pontuação do princípio P1 depende dos riscos para a saúde e ambiente do soluto: para o cloreto de sódio (sem riscos), actividade 1.2a

(EV22), é 3; para o cloreto de cálcio e carbonato de cálcio (Xi), actividades 1.2b-c (EV23), é 2; para o iodo (Xn, N), heptano e hexano (Xn, F, N), actividade 1.2d-g (EV21), a pontuação é 1. Para as actividades 1.3 (EV21) em que o solvente é o hexano (Xn, F, N), a pontuação para os princípios P1 e P12 é sempre 1, seja qual for o soluto, porque este solvente envolve riscos elevados para o ambiente e de acidente. Para a actividade 2 (EV24), em que se estuda a influência da temperatura na solubilidade do nitrato de potássio em água, a pontuação do princípio P6 é 2, porque é necessário aquecer e, atendendo a que só se utiliza água como substância auxiliar (banho maria), a pontuação do princípio P5 é 3. Como o nitrato de potássio (O) apresenta riscos elevados de acidente e não é renovável nem degradável, a pontuação para os princípios P12, P7, P10 é 1, mas 3 para P1. Seria aconselhável não utilizar o hexano, o iodo e o heptano atendendo aos riscos que apresentam para o ambiente (N).

AL 2.6 Dureza da água e problemas de lavagem. Para as experiências da actividade 1, como não se usam substâncias auxiliares e se realizam a pressão e temperatura ambientais, a pontuação para os princípios P5 e P6 é 3. As EV variam conforme os riscos das substâncias utilizadas para endurecer a água e dos resíduos formados, o que determina a pontuação dos princípios P1 e P12, e se são renováveis e/ou degradáveis, o que determina a pontuação dos princípios P7 e P10, respectivamente. Para a actividade 1a (EV25), como se utiliza cloreto de cálcio (Xi, degradável) como endurecedor e se forma estearato de cálcio (Xi, degradável) quando se adiciona o sabão, a pontuação é 2 para os princípios P1 e P12 e 3 para o princípio P10. Para a actividade 1b (EV26), como se utiliza sulfato de magnésio (sem indicação de riscos) e se forma estearato de magnésio (Xi, degradável) quando se adiciona o sabão, a pontuação é 2 para os princípios P1 e P12 e 1 para o princípio P10, porque pelo menos uma das substâncias não é degradável a produtos inócuos. Para ambas as actividades a pontuação é 1 para o princípio P7, porque pelo menos uma das substâncias não é renovável. Para a actividade 1c (EV27), como se trata de água destilada, a EV depende das características do sabão utilizado. Considerou-se um sabão inócuo e biodegradável, pelo que a pontuação é 3 para todos os princípios excepto P7, para o qual é 1, por este não ser renovável. Para as experiências da actividade 2 (EV28 e 29), amacia-se as águas endurecidas nas experiências da actividade 1 com carbonato de sódio. Como é necessário aquecer, a pontuação para o princípio P6 reduz-se a 2, para os outros princípios a pontuação para as EV (EV28 e 29) é igual à das EV anteriores, (EV25 e 26), respectivamente.

Discussão Final

Os resultados obtidos na análise são resumidos nos gráficos das figuras 3 e 4, mediante a distribuição da frequência das experiências em função do respectivo Índice de Preenchimento da Estrela, e no gráfico da figura 5 em função dos riscos para a saúde e ambiente, e de acidente (para realizar uma discussão global incluíram-se nestas figuras os resultados referentes ao 10º ano [1]).

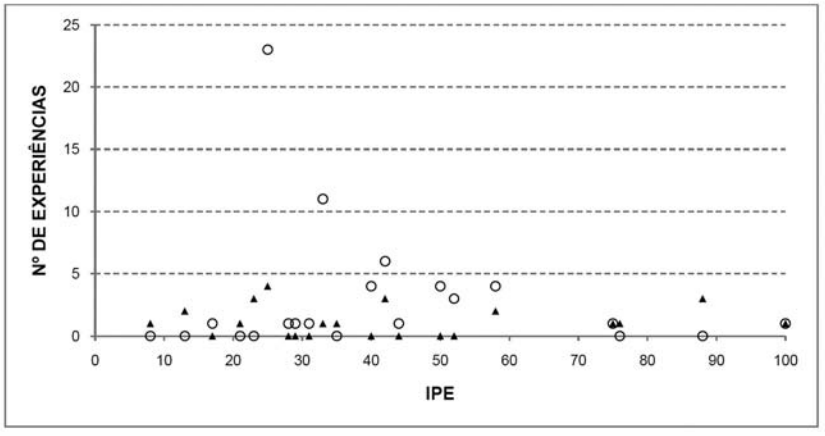


Figura 3 – Frequência das experiências em função do Índice de Preenchimento da Estrela (IPE); ▲ AL 10º Ano, ○ AL 11º Ano

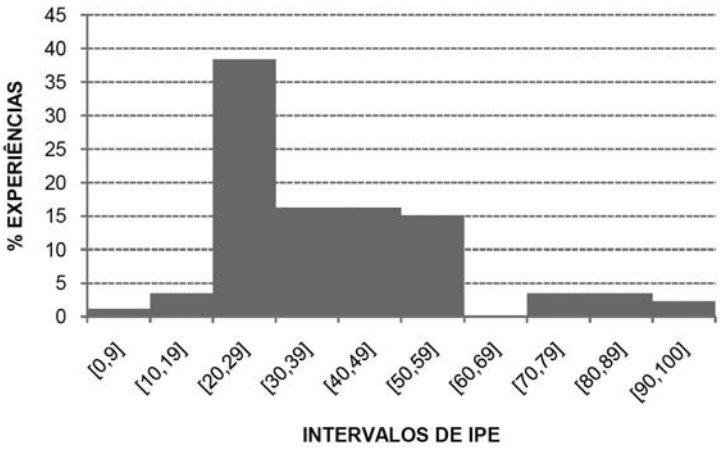


Figura 4 – Distribuição da frequência do conjunto das experiências do 10º e 11º anos em função do Índice de Preenchimento da Estrela (IPE). Número total de experiências: 86

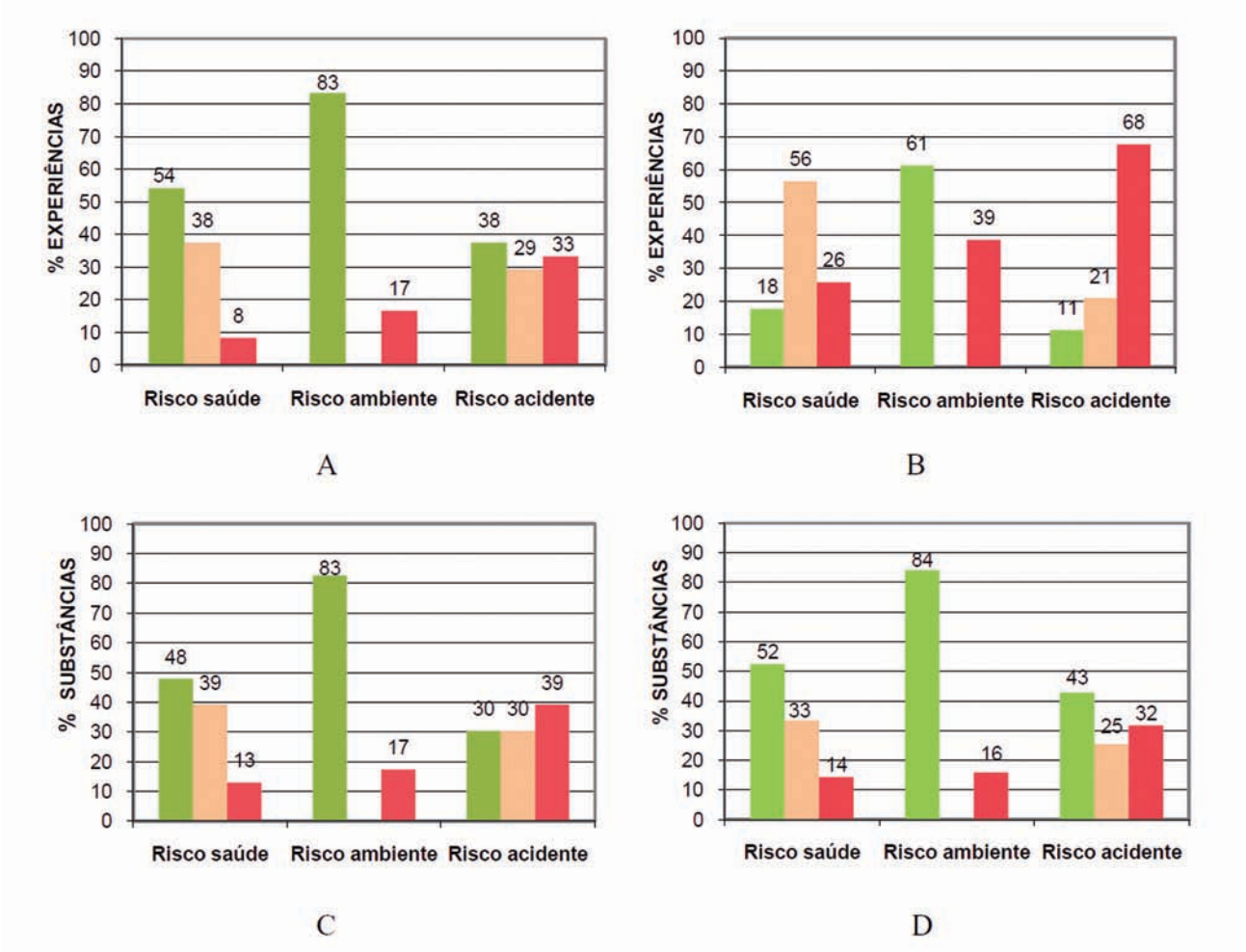


Figura 5 – Percentagem de experiências (A, B) e de substâncias (C, D) em função dos riscos para a saúde e ambiente e de acidente: (A, C) 10º ano, (B, D) 11º ano; Sem Risco, Risco Moderado, Risco Elevado. Número de experiências: 24 do 10º ano e 62 do 11º ano. Número de sustâncias utilizadas; 23 no 10º ano e 62 no 11º ano

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 actividades 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 actividades 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 5A), 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 5B), respectivamente 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. Para esta situação contribui a utilização de substâncias com riscos elevados: no 10º ano (figura 5C), 13% das substâncias usadas apresentam riscos elevados para a saúde, 17% para o ambiente e 39% de acidente, sendo os valores semelhantes para o 11º ano (figura 5D), respectivamente 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 actividades laboratoriais realizadas em contexto escolar.

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 reacções de síntese são o âmago da química do mundo real, nomeadamente da química real praticada pela Indústria Química – são estas reacções que contribuem para grande parte do valor acrescentado dos produtos químicos. Os programas da disciplina de Técnicas Laboratoriais de Química [8], blocos 1 (TLQ1) e 2 (TLQ2) leccionados nos 10º e 11º anos, eliminada aquando da reestruturação curricular que deu origem aos actuais programas, previam treze sínteses. Infelizmente, não houve a preocupação de transferir para a disciplina de Física e Química esta valorização das actividades de síntese, criando-se uma situação de *colapso químico*, evidenciado pela figura 6. 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!).

A análise conjunta das actividades laboratoriais do 10º e 11º anos mostra que uma parte significativa das experiências apresenta uma verdura 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 2 apresentam-se alguns aspectos a que se deve atender para introduzir a QV no ensino da Química e evitar as limitações que os programas actuais apresentam. A tabela evidencia que a maioria desses aspectos é praticamente ignorada nos programas actuais.

Conclusões

O presente estudo evidencia limitações das actividades laboratoriais realizadas nos 10 e 11º anos do ensino secundário que podem ser naturalmente resolvidas se for adoptada a postura da QV. No entanto, a assumpção 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" [12]; formar cidadãos mais conscientes da necessidade de mudanças tecnológicas e societárias para dirigir a civilização industrial para o Desenvolvimento Sustentável; bem como 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 – 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?"

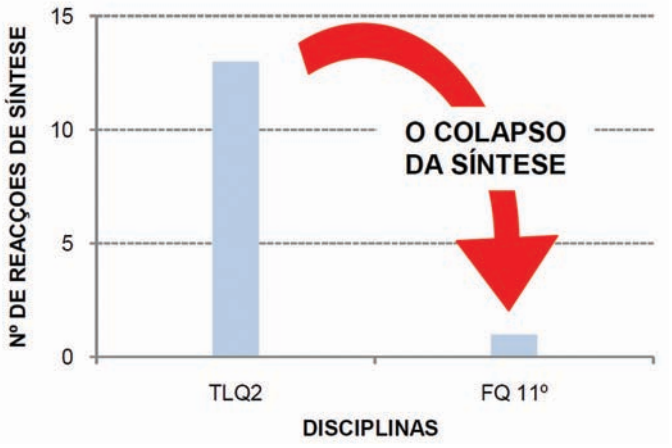


Figura 6 – O colapso da síntese no ensino secundário: distribuição das reacções de síntese por disciplina (os programas das disciplinas TLQ1 e FQ10 não envolviam sínteses; as TLQ foram banidas)

Tabela 2 – Incorporação da QV no ensino da Química

Aspectos a considerar para o ensino da QV	Limitações dos programas actuais
Princípios da QV [6]	Omissos nos programas em vigor
Análise da verdura, em sentido amplo, das actividades laboratoriais [1, 3-5]	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) [9] e ambientais [10, 11]	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 perspectiva 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, à microescala	A microescala é proposta em alguns casos, limitando-se porém à química de gotas

Referências

[1] 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, *Química - Bol. S. P. Q.* **115** (2009) 41-49.

[2] DGIDC Web: http://sitio.dgidc.min-edu.pt/secundario/paginas/programas_es_f.aspx (Direcção Geral de Inovação e Desenvolvimento Curricular, acedido em 17-01-2011).

[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] M. G. T. C. Ribeiro, A. A. S. C. Machado, Metal Acetylacetonates' Synthesis Experiments – Which is Greener?, *J. Chem. Ed.*, aceite para publicação.

[6] A. A. S. C. Machado, Química e Desenvolvimento Sustentável, *Química - Bol. S. P. Q.* **95** (2004) 59-67.

[7] http://www.merck-chemicals.com.pt/;sid=LRNTVzIKIG1SV389pJVBAJrK_hDWSPoe6jxtcJ3LCCO-piIWLs-qubxsNDOdKE0vvYtttcJ3L_hDWSOEJqAxtcJ3L?CountryName=Portugal.

[8] *Programas de Técnicas Laboratoriais de Química Blocos I e II*, Ministério da Educação, Gabinete de Educação Tecnológica, Artística e Profissional, Porto, 1992.

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

[10] R. A. Frosch (ed.), Industrial Environmental Performance Metrics – Challenges and Opportunities, National Academy Press, Washington, 1999.

[11] D. T. Allen e D. R. Shonnard, Green Engineering – Environmentally Conscious Design of Chemical Processes, Prentice-Hall, Upper Saddle River, 2002.

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