



AL 1.2 - 12º ano: UM CICLO DE COBRE

Análise de resultados e avaliação da verdura química

1. Estrela verde

A “Estrela Verde (EV)” é uma métrica holística criada para avaliar a verdura de uma reação ou processo químico. É constituída por uma estrela de tantas pontas quantos os Princípios da QV que se aplicam à situação em análise. Cada ponta é tanto mais verde quanto melhor for o cumprimento do respetivo princípio. Em face da sua forma, a métrica foi designada pelo nome de “Estrela Verde”. A apreciação desta métrica, feita visualmente, é muito simples: quanto mais preenchida de verde está a estrela, mais verde é a experiência avaliada. É ainda possível associar um Índice de Preenchimento da Estrela (IPE) definido como a percentagem de área verde da estrela relativamente à área de uma estrela de verdura máxima:

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

Para a estrela de verdura máxima, IPE = 100, para a de mínima, IPE = 0.

1.1. Consultando a tabela de segurança do protocolo e tendo por base os critérios definidos na tabela I anexa preencha a Tabela 1.

Ciclo do cobre	Códigos das advertências de perigo	Pontuação de perigos			Renovável		Degradável	
		Saúde	Ambiente	Físicos	Sim	Não	Sim	Não
Reagentes								
Cobre (em folha)								
Ácido nítrico (6 mol dm ⁻³)								
Hidróxido de sódio (sol. 6 mol dm ⁻³)								
Ácido sulfúrico (3 mol dm ⁻³)								
Zinco (em pó)								
Substâncias auxiliares								
Ácido clorídrico (3 mol dm ⁻³)								
Água destilada								
Produto								
Cobre sólido (granulado)								
Resíduos								
Dióxido de azoto (gasoso)								
Nitrato de sódio em solução aquosa								
Sulfato de zinco em solução aquosa								
Ácido clorídrico em solução aquosa								
Água								
Cloreto de zinco em solução aquosa								
Hidrogénio								

Tabela 1. Perigos para a saúde, ambiente e de acidente de todas as substâncias envolvidas.

1.2. Tendo por base a tabela II anexa preencha a Tabela 2.

Tabela 2. Pontuações para construir a EV

Princípio da QV	Pontuação	Explicação
P1 – Prevenção		
P2- Economia atômica		
P3 – Sínteses menos perigosas		
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras		
P6 – Planificação para conseguir eficácia energética		
P7 – Uso de matérias primas renováveis		
P8 – Redução de derivatizações		
P9 – Catalisadores		
P10 – Planificação para a degradação		
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes		

1.3. Construa a EV na Figura 1, marcando em cada eixo a pontuação do respetivo princípio e pintando a verde e a vermelho as áreas que indicam o cumprimento ou não cumprimento dos princípios, respetivamente. Em seguida use a folha de Excel fornecida para desenhar a EV e calcular o Índice de Preenchimento da Estrela (IPE).

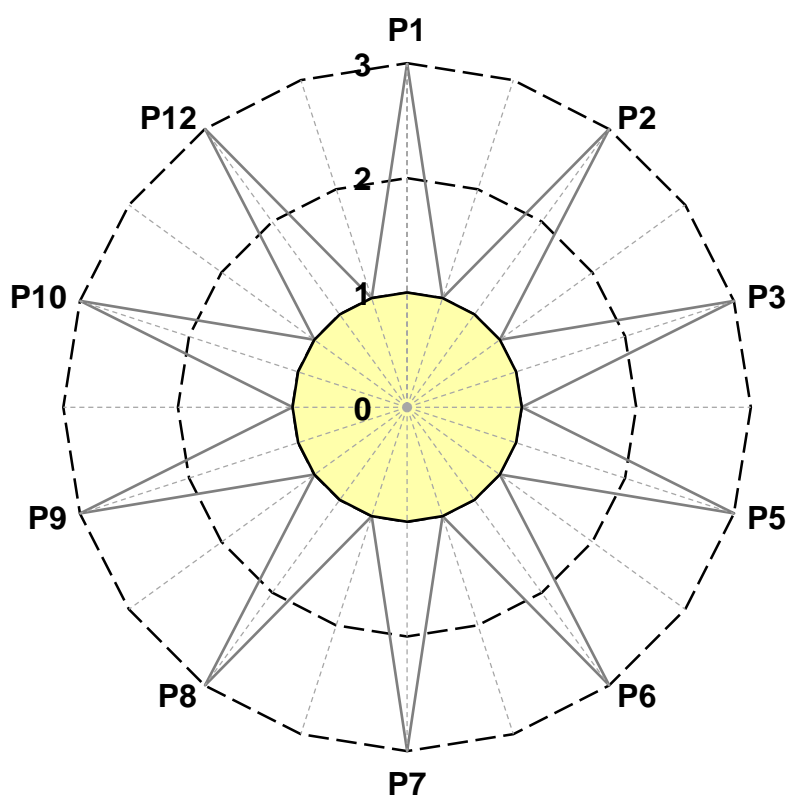


Figura 1 - EV para preencher

1.4. A partir da EV o que pode concluir quanto à veracidade química da experiência?

2. Métricas da química verde

2.1. Fator E

$$\text{Fator E} = \frac{m_{\text{total de resíduos}}}{\text{massa de produto}}$$

O *valor ideal* do Fator E é zero, o que ocorreria se não houvesse produção de quaisquer resíduos.

Nas situações reais, o Fator E tem muitas vezes um valor bastante elevado: produzem-se muito mais resíduos do que produto!

Calcular:

(a) massa total de resíduos (considerando $m_{\text{total de resíduos}} = \text{massa total de reagentes} - \text{massa de produto}$)

(b) Fator E

2.2. Eficiência de massa (RME)

$$\text{RME} = \frac{\text{massa de produto}}{\text{massa total de reagentes estequiométricos}} \times 100$$

O *valor ideal* do RME é 100% o que acontece quando não há excesso de reagentes estequiométricos, ou seja os reagentes estequiométricos estão presentes em proporções estequiométricas, não há formação de coprodutos e o rendimento é de 100% (todos os reagentes estequiométricos se transformam em produto).

Calcular:

(a) massa total de reagentes estequiométricos

(b) RME

2.3. Economia atômica percentual (AE)

A economia atômica percentual é definida como a razão entre a massa de átomos de reagentes que são incorporados no produto desejado, e a massa total de átomos nos reagentes, expressa em porcentagem. O termo reagentes refere-se apenas aos reagentes estequiométricos, sendo excluídos deste cálculo reagentes auxiliares, catalisadores e solventes.

$$AE = \frac{c \times \text{MM do produto}}{\sum c_i \times \text{MM}_i} \times 100$$

Nesta síntese, esta métrica calcula-se com a seguinte expressão:

$$AE = \frac{c \times \text{MM}(\text{Cu})}{c \times \text{MM}(\text{Cu}) + c \times \text{MM}(\text{HNO}_3) + c \times \text{MM}(\text{NaOH}) + c \times \text{MM}(\text{H}_2\text{SO}_4) + c \times \text{MM}(\text{Zn})} \times 100$$

c – representa o coeficiente estequiométrico de cada substância

Calcular o AE para a experiência.

2.4. Intensidade de energia

$$EI = \frac{\text{energia utilizada}}{\text{massa do produto}} (\text{W}\cdot\text{h}\cdot\text{g}^{-1})$$

Calcular o EI para a experiência.

2.5. Intensidade de tempo

$$TI = \frac{\text{tempo de duração da experiência}}{\text{massa do produto}} (\text{h}\cdot\text{g}^{-1})$$

Calcular o TI para a experiência.

3. Conclusões

3.1 Completa a tabela 3 com os teus dados e os dos outros grupos de trabalho e determina a média e o desvio padrão.

Tabela 3. Tabela resumo das métricas de massa calculadas.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Média	Desvio padrão
Rendimento (%)						
Fator E						
RME (%)						
AE (%)						
Intensidade de energia / $W \cdot h \cdot g^{-1}$						
Intensidade de tempo / $h \cdot g^{-1}$						

3.2 O que pode concluir quanto à veracidade química da experiência a partir dos valores de todas as métricas? Faça uma análise pormenorizada de cada métrica e compare AE com RME.

ANEXOS: DOCUMENTOS DE APOIO À CONSTRUÇÃO DA EV

Documento 1 – Princípios da Química Verde

P1 – 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

As experiências serão analisadas atendendo aos resíduos formados.

P2 – ECONOMIA ATÓMICA

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

Este princípio só será aplicado no caso das atividades que envolvem reações de síntese.

P3 – 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

Este princípio só será aplicado no caso das atividades que envolvem reações de síntese.

As experiências serão analisadas atendendo a todas as substâncias envolvidas.

P4 – 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

Este princípio não se aplica nesta aferição, pois no ensino não se efetua a planificação de novos produtos.

P5 – 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

As experiências serão analisadas atendendo aos solventes e substâncias auxiliares utilizadas.

P6 – PLANIFICAÇÃO PARA CONSEGUIR EFICÁCIA 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

P7 – 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

A análise será efectuada atendendo às matérias-primas utilizadas.

P8 – REDUÇÃO DE 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

Este princípio só será aplicado no caso das atividades que envolvem reações de síntese.

P9 – CATALISADORES

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

Este princípio só será aplicado no caso das atividades que envolvem reações de síntese.

P10 – 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

As experiências serão analisadas atendendo a todas as substâncias envolvidas.

P11 – 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

Este princípio não se aplica nesta aferição, pois no ensino não se efetua a planificação de novos produtos.

P12 – 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

As experiências serão analisadas atendendo a todas as substâncias envolvidas.

Tabela I. Critérios para a classificação das substâncias para construção das EV

Perigos		Pontuação Estrela verde	Perigos		Pontuação Estrela verde
H200	Físico	3	H330	Saúde	3
H201	Físico	3	H331	Saúde	3
H202	Físico	3	H332	Saúde	2
H203	Físico	3	H333	Saúde	2
H204:	Físico	2	H334	Saúde	3
H205	Físico	3	H335	Saúde	2
H220	Físico	3	H336	Saúde	2
H221	Físico	2	H340	Saúde	3
H222	Físico	3	H341	Saúde	3
H223	Físico	2	H350	Saúde	3
H224	Físico	3	H351	Saúde	3
H225	Físico	3	H360	Saúde	3
H226	Físico	2	H361	Saúde	3
H227	Físico	2	H362	Saúde	2
H228 (category 1)	Físico	3	H370	Saúde	3
H228 (category 2)	Físico	2	H371	Saúde	3
H229	Físico	2	H372	Saúde	3
H230	Físico	3	H373	Saúde	3
H231	Físico	2	H400	Ambiente	3
H240	Físico	3	H401	Ambiente	3
H241	Físico	3	H402	Ambiente	2
H242 (Type C & D)	Físico	3	H410	Ambiente	3
H242 (Type E & F)	Físico	2	H411	Ambiente	3
H250	Físico	3	H412	Ambiente	2
H251	Físico	3	H413	Ambiente	2
H252	Físico	2	H420	Ambiente	3
H260	Físico	3	EUH001	Físico	3
H261(category2)	Físico	3	EUH006	Físico	3
H261(category3)	Físico	2	EUH014	Físico	3
H270	Físico	3	EUH018	Físico	3
H271	Físico	3	EUH019	Físico	3
H272(category2)	Físico	3	EUH029	Saúde	3
H272(category3)	Físico	2	EUH031	Saúde	3
H280	Físico	2	EUH032	Saúde	3
H281	Físico	2	EUH044	Físico	3
H290	Físico	2	EUH059	Ambiente	3
H300	Saúde	3	EUH066	Saúde	2
H301	Saúde	3	EUH070	Saúde	3
H302	Saúde	2	EUH071	Saúde	3
H303	Saúde	2	EUH201	Saúde	3
H304	Saúde	3	EUH201A	Saúde	2
H305	Saúde	2	EUH202	Saúde	3
H310	Saúde	3	EUH203	Saúde	2
H311	Saúde	3	EUH204	Saúde	2
H312	Saúde	2	EUH205	Saúde	2
H313	Saúde	2	EUH206	Saúde	3
H314	Saúde	3	EUH207	Saúde	3
H315	Saúde	2	EUH208	Saúde	2
H316	Saúde	2	EUH209	Físico	3
H317	Saúde	2	EUH209A	Físico	2
H318	Saúde	3			
H319	Saúde	2			
H320	Saúde	2			

Tabela II. Critérios para classificar as substancias relativamente à degradabilidade e renovabilidade

Características	Critérios	Pontuação (p) Estrela verde
Degradabilidade	Não degradáveis e que não possam ser tratados para se obter a sua degradação em produtos de degradação inócuos	3
	Não degradáveis mas que possam ser tratadas para se obter a sua degradação em produtos de degradação inócuos	2
	Degradáveis com produtos de degradação inócuos	1
Renovabilidade	Não renováveis	3
	Renováveis	1

Tabela III. Componentes e pontuações para construção das EV (p = pontuação)

Princípio da QV	Critérios	p
P1 – Prevenção	Todos os resíduos são inócuos ($p=1$, tabela 1)	3
	Resíduos que envolvam perigo moderado para a saúde e ambiente ($p=2$, tabela 1, pelo menos para uma substância, sem substâncias com $p=3$)	2
	Formação de pelo menos um resíduo que envolva perigo elevado para a saúde e ambiente ($p=3$, tabela 1)	1
P2- Economia atômica	Reacções sem reagentes em excesso ($\leq 10\%$) e sem formação de coprodutos	3
	Reacções sem reagentes em excesso ($\leq 10\%$) 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 ($p=1$, tabela 1)	3
	As substâncias envolvidas apresentam perigo moderado para a saúde e ambiente ($p=2$, tabela 1, pelo menos para uma substância, sem substâncias com $p=3$)	2
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas apresenta perigo elevado para a saúde e ambiente ($p=3$, tabela 1)	1
P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	Os solventes e as substâncias auxiliares não existem ou são inócuas ($p=1$, tabela 1)	3
	Os solventes e as substâncias auxiliares usadas envolvem perigo moderado para a saúde e ambiente ($p=2$, tabela 1, pelo menos para uma substância, sem substâncias com $p=3$)	2
	Pelo menos um dos solventes ou uma das substâncias auxiliares usadas envolve perigo elevado para a saúde e ambiente ($p=3$, tabela 1)	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 envolvidos são renováveis ($p=1$, tabela 2)	3
	Pelo menos um dos reagentes/matérias-primas envolvidos é renovável, não se considera a água ($p=1$, tabela 2)	2
	Nenhum dos reagentes/matérias-primas envolvidos é renovável, não se considera a água ($p=3$, tabela 2)	1
P8 – Redução de derivatizações	Sem derivatizações ou com uma etapa	3
	Usa-se apenas uma derivatização ou duas etapas	2
	Usam-se várias derivatizações ou mais do que duas etapas	1
P9 – Catalizadores	Não se usam catalisadores ou os catalisadores são inócuos ($p=1$, tabela 1)	3
	Utilizam-se catalisadores que envolvem perigo moderado para a saúde e ambiente ($p=2$, tabela 1)	2
	Utilizam catalisadores que envolvem perigo elevado para a saúde e ambiente ($p=3$, tabela 1)	1
P10 – Planificação para a degradação	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis com os produtos de degradação inócuos ($p=1$, tabela 2)	3
	Todas as substâncias envolvidas que não são degradáveis podem ser tratados para obter a sua degradação com os produtos de degradação inócuos ($p=2$, tabela 2)	2
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas não é degradável nem pode ser tratado para obter a sua degradação com produtos de degradação inócuos ($p=3$, tabela 2)	1
P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	As substâncias envolvidas apresentam perigo baixo de acidente químico ($p=1$, tabela 1, considerando os perigos para a saúde e perigos físicos)	3
	As substâncias envolvidas apresentam perigo moderado de acidente químico ($p=2$, tabela 1, pelo menos para uma substância, considerando os perigos para a saúde e perigos físicos, e sem substâncias com $p=3$)	2
	As substâncias envolvidas apresentam perigo elevado de acidente químico ($p=3$, tabela 1, considerando os perigos para a saúde e perigos físicos)	1