



## AL 1.2 11º ano – Síntese do sulfato de tetraaminocobre(II) monoidratado

## Análise de resultados e avaliação da verdura química

1. A “Estrela Verde” (EV) é uma métrica 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”.

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

Síntese do sulfato de tetraaminocobre(II) monoidratado	Código das advertências de perigo	Pontuação de perigos para a saúde	Pontuação de perigos para o ambiente	Pontuação de perigos físicos
<b>Reagentes</b>				
Sulfato de cobre(II) pentaidratado				
Solução aquosa de amoníaco 25% <i>m/m</i>				
<b>Solventes</b>				
Água				
Etanol				
<b>Produto</b>				
Sulfato de tetraaminocobre(II) monoidratado				
<b>Resíduos</b>				
Amoníaco (aq) em excesso				
Etanol				

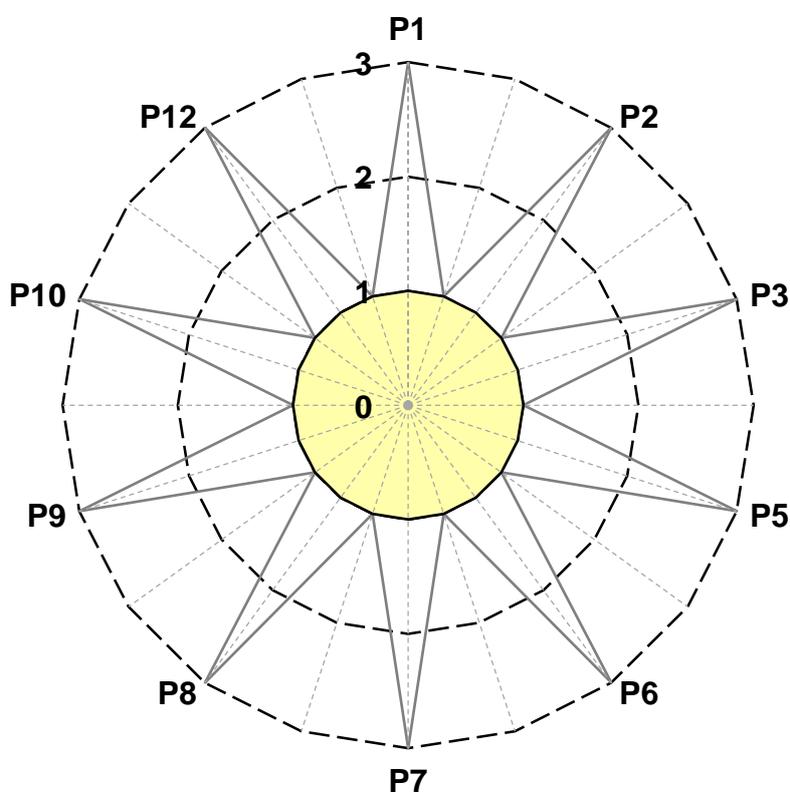
Tabela 1. Perigos para a saúde, ambiente e físicos de todas as substâncias envolvidas

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 – Catalizadores		
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 síntese?

---

---

---

---

## **2. Rendimento**

**2.1.** Calcule o rendimento obtido para a síntese realizada. Apresente os cálculos.

Rendimento = \_\_\_\_\_

Cálculos

**2.2.** Valores obtidos pelos outros grupos

Média do rendimento:

Desvio padrão :

### 3. Métricas da química verde

#### 3.1. 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 muitos mais resíduos do que produto!

Calcular:

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

massa total de resíduos calculada = \_\_\_\_\_

(b) Fator E

Valor do fator E \_\_\_\_\_

O que pode concluir quanto à *verduza química* da síntese a partir do valor do fator E?

---

---

---

#### 3.2. Economia atômica percentual (AE)

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

O valor ideal para o AE é 100% o que acontece quando não há formação de coprodutos, isto é, todos os átomos dos reagentes estequiométricos são incorporados apenas no produto. Só se consideram os reagentes estequiométricos.

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

$$\text{AE} = \frac{c \times \text{MM}([\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O})}{c \times \text{MM}(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) + c \times \text{MM}(\text{NH}_3)} \times 100$$

$c$  – representa o coeficiente estequiométrico de cada substância

Calcular o AE para a experiência.

Valor do AE \_\_\_\_\_

O que pode concluir quanto à veracidade química da síntese a partir do valor do AE?

---

---

---

### 3.3. 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).

Para as duas sínteses realizadas calcular:

Valor de RME \_\_\_\_\_

O que pode concluir quanto à veracidade química da síntese a partir do valor do RME?

---

---

---

Compare os valores de AE e RME. O que pode concluir?

---

---

---

## 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.**

---

Documento 2 – Tabelas de apoio à construção da Estrela Verde

Tabela 1. Pontuação para classificar os perigos das substâncias.

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

Tabela 2 Critérios para classificar as substâncias relativamente à degradabilidade e renovabilidade

Características	Critérios	Pontuação (p)
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 3 Pontuações (p) para construir a estrela verde**

<b>Princípio da QV</b>	<b>Critérios</b>	<b>p</b>
<b>P1 – Prevenção</b>	Todos os resíduos são inócuos (p=1, tabela 1a)	<b>3</b>
	Resíduos que envolvam perigo moderado para a saúde e ambiente (p=2, tabela 1a, pelo menos para uma substância, sem substâncias com p=3)	<b>2</b>
	Formação de pelo menos um resíduo que envolva perigo elevado para a saúde e ambiente (p=3, tabela 1)	<b>1</b>
<b>P2- Economia atômica</b>	Reações sem reagentes em excesso ( $\leq 10\%$ ) e sem formação de coprodutos	<b>3</b>
	Reações sem reagentes em excesso ( $\leq 10\%$ ) e com formação de coprodutos	<b>2</b>
	Reações com reagentes em excesso ( $> 10\%$ ) e sem formação de coprodutos	<b>2</b>
	Reações com reagentes em excesso ( $> 10\%$ ) e com formação de coprodutos	<b>1</b>
<b>P3 – Sínteses menos perigosas</b>	Todas as substâncias envolvidas são inócuas (p=1, tabela 1)	<b>3</b>
	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)	<b>2</b>
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas apresenta perigo elevado para a saúde e ambiente (p=3, tabela 1)	<b>1</b>
<b>P5 – Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras</b>	Os solventes e as substâncias auxiliares não existem ou são inócuas (p1, tabela 1)	<b>3</b>
	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)	<b>2</b>
	Pelo menos um dos solventes ou uma das substâncias auxiliares usadas envolve perigo elevado para a saúde e ambiente (p=3, tabela 1)	<b>1</b>
<b>P6 – Planificação para conseguir eficácia energética</b>	Temperatura e pressão ambientais	<b>3</b>
	Pressão ambiental e temperatura entre 0°C e 100°C que implique arrefecimento ou aquecimento	<b>2</b>
	Pressão diferente da ambiental e/ou temperatura $> 100$ °C ou menor do que 0 °C	<b>1</b>
<b>P7 – Uso de matérias primas renováveis</b>	Todos os reagentes/matérias-primas envolvidos são renováveis (p=1, tabela 2)	<b>3</b>
	Pelo menos um dos reagentes/matérias-primas envolvidos é renovável, não se considera a água (p=1, tabela 2)	<b>2</b>
	Nenhum dos reagentes/matérias-primas envolvidos é renovável, não se considera a água (p=3, tabela 2)	<b>1</b>
<b>P8 – Redução de derivatizações</b>	Sem derivatizações ou com uma etapa	<b>3</b>
	Usa-se apenas uma derivatização ou duas etapas	<b>2</b>
	Usam-se várias derivatizações ou mais do que duas etapas	<b>1</b>
<b>P9 – Catalisadores</b>	Não se usam catalisadores ou os catalisadores são inócuos (p1, tabela 1)	<b>3</b>
	Utilizam-se catalisadores que envolvem perigo moderado para a saúde e ambiente (p=2, tabela 1)	<b>2</b>
	Utilizam catalisadores que envolvem perigo elevado para a saúde e ambiente (p=3, tabela 1)	<b>1</b>
<b>P10 – Planificação para a degradação</b>	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis com os produtos de degradação inócuos (p=1, tabela 2)	<b>3</b>
	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)	<b>2</b>
	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)	<b>1</b>
<b>P12 – Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes</b>	As substâncias envolvidas apresentam perigo baixo de acidente químico (p=1, tabela 1, considerando os perigos físicos e de saúde)	<b>3</b>
	As substâncias envolvidas apresentam perigo moderado de acidente químico (p=2, tabela 1, pelo menos para uma substância, sem substâncias com p=3, considerando os perigos físicos e de saúde)	<b>2</b>
	As substâncias envolvidas apresentam perigo elevado de acidente químico (p=3, tabela 1, considerando os perigos físicos e de saúde)	<b>1</b>