

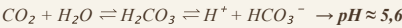
# Ficha — Chuva ácida: formação, consequências e formas de minimização

11.º Ano   Física e Química A   4 páginas   12 exercícios

**Objetivo:** Explicar a acidez da chuva normal e a formação das chuvas ácidas ( $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$  e  $\text{HNO}_3$ ), avaliar as suas consequências ambientais e pesquisar formas de minimização a nível pessoal, social e industrial.

## Revisão rápida

Chuva normal já é levemente ácida: o  $\text{CO}_2$  atmosférico dissolve-se e forma **carbonato de hidrogénio** (fraco):



Chuva ácida = chuva com  $\text{pH} < 5,6$  ( $\text{pH } 4 \approx 40\times$  mais ácida que a normal).

| Poluente                           | Fonte                                                                      | Ácido formado                               |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| $\text{SO}_2$ (dióxido de enxofre) | queima de combustíveis fósseis com enxofre (centrais térmicas, refinarias) | $\text{H}_2\text{SO}_4$ (sulfúrico — forte) |
| $\text{NO}_x$ (óxidos de azoto)    | motores de combustão a alta temperatura (automóveis, aviação)              | $\text{HNO}_3$ (nítrico — forte)            |

**Consequências** (por escala): **solos e florestas** (lavagem de  $\text{Ca/Mg}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  tóxico libertado, árvores debilitadas) · **águas** (lagos/rios acidificados — peixes e larvas mortos) · **materiais** (calcário/mármore corroídos:  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$  — monumentos) · **transfronteiriço** (o vento não respeita fronteiras).

**Minimização** — três níveis: **industrial**: dessulfurização dos fumos (lavadores), catalisadores de  $\text{NO}_x$ , queima de combustíveis com pouco enxofre · **social/energético**: renováveis, eficiência, transporte coletivo · **pessoal**: menos carro, poupar energia. Marco: **Protocolo de Gotemburgo (1999)** — cortes de  $\text{SO}_2/\text{NO}_x$  negociados ( $\approx -50\%$  até 2010) — a química a orientar políticas.

**Estratégia**: escrever a formação (fonte  $\rightarrow$  ácido)  $\rightarrow$  acidez ( $\text{pH}$ /limiar 5,6)  $\rightarrow$  consequência por componente (solo/água/material)  $\rightarrow$  medida no nível certo (pessoal/social/industrial) — a estrutura da questão de desenvolvimento.

## Exercícios

1. Completar: a chuva natural é ácida por causa do \_\_\_\_\_, que forma \_\_\_\_\_ (ácido fraco). O limiar da chuva ácida é  $\text{pH} =$  \_\_\_\_\_. Um  $\text{pH } 4$  é quantas vezes mais ácido que o  $\text{pH } 5,6$ ? (ordem de grandeza)

2. Formação: (a) de que poluente vem o  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e de que atividades? (b) E o  $\text{HNO}_3$ ? (c) Escreve a reação simplificada do  $\text{SO}_2$  até ao ácido sulfúrico (pode ser em etapas).

3. Acidez em números: (a) calcula  $[H_3O^+]$  de uma chuva de pH 5,6 e de pH 4,0. (b) Confirma a relação «~40 vezes». (c) Porque é que uma pequena variação de pH significa uma grande variação de acidez (logaritmo)?

4. Consequências — solos: explica a cadeia «chuva ácida → solo → árvore»: acidez dissolve que minerais? Que ião tóxico é libertado? E porque é que a árvore «fome» mesmo com a água disponível?

5. Consequências — águas: um lago com pH 4,5 e outro com pH 6,5: (a) em qual esperas peixes? (b) O que a acidez faz ao oxigénio e às larvas? (c) Porque é que as rochas calcárias à volta «pagam» a neutralização parcial?

6. Consequências — materiais: escreve a reação do ataque da chuva ácida ao mármore ( $CaCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow ?$ ) e explica porque é que monumentos de calcário se «desfazem» — e o que se observa (perda de detalhe, cascos).

7. Problema transfronteiriço: porque é que a chuva ácida de uma central num país atinge florestas de outro? E o que isso exigiu (cooperação internacional)? Dá o exemplo do Protocolo de Gotemburgo (1999).

8. Minimização industrial: descreve três medidas da indústria energética/automóvel (dessulfurização dos fumos, catalisador de  $NO_x$ , combustível com pouco enxofre) e diz a que poluente cada uma ataca.

9. Minimização social e pessoal: completa — «mais \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_ (transporte coletivo) · mais \_\_\_\_\_ (renováveis) e \_\_\_\_\_ (eficiência) · em casa: \_\_\_\_\_» — e explica porque as escolhas individuais contam (procura de energia).

10. Leitura de dados: um gráfico mostra o pH médio de chuvas — campo: 5,4 · cidade com tráfego: 4,6 · encosta industrial: 4,1. (a) Onde está o problema mais grave e porquê? (b) O que os dados sugerem sobre as fontes (indústria vs tráfego)? Que tipo de fonte é este gráfico (primária/secundária)?

11. Remediação: para «salvar» um lago ácido, aplica-se cal ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). (a) Escreve a neutralização com o ácido sulfúrico. (b) Porque é que isto é um paliativo e não a solução (a fonte continua)? (c) O que é «solução» noutra nível?

12. Síntese: um deputado propõe «limite legal de  $\text{SO}_2$  nas centrais». Explica (4–5 linhas) a cadeia completa que justifica a lei: poluente → ácido → pH/limiar → efeito em solo/água/monumentos → medida (tecnologia disponível) → resultado mensurável (Gotemburgo). Porque é que esta questão é «interdisciplinar» (química + economia + ética)?

## Soluções — Chuva ácida

11.º Ano

Física e Química A

Resolução completa

1.  $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{CO}_3$  (carbonato de hidrogénio) · 5,6 · diferença de 1,6 unidades  $\rightarrow 10^{1,6} \approx 40$  vezes mais ácida (pH 4).
  2. (a)  $\text{H}_2\text{SO}_4 \leftarrow \text{SO}_2 \leftarrow$  queima de fósseis ricos em enxofre (centrais térmicas de carvão/óleo, refinarias). (b)  $\text{HNO}_3 \leftarrow \text{NO}_x \leftarrow$  combustão a alta T (motores de automóveis, aviação — o azoto do ar reage com  $\text{O}_2$  à chama). (c)  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3$  (ácido sulfuroso)  $\rightarrow$  (oxidação no ar)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  — simplificado:  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2\text{SO}_4$ .
  3. (a)  $\text{pH } 5,6 \rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-5,6} \approx 2,5 \times 10^{-6} \text{ M}$  · pH 4,0  $\rightarrow 10^{-4} = 1 \times 10^{-4} \text{ M}$ . (b)  $10^{-4} / 2,5 \times 10^{-6} \approx 40$  ✓. (c) Porque o pH é **logarítmico**: cada unidade = fator 10 em  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ ; 1,6 unidades  $\rightarrow 10^{1,6} \approx 40$  — uma escala linear esconderia saltos brutais.
  4. Cadeia: a acidez **dissolve os minerais do solo** (cálcio, magnésio — nutrientes) e **liberta  $\text{Al}^{3+}$**  (alumínio, tóxico em solução). A raiz absorve  $\text{Al}^{3+}$  em vez de nutrientes  $\rightarrow$  envenenamento + **fome de Ca/Mg**  $\rightarrow$  a árvore fica debilitada (menos clorofila, raízes danificadas) mesmo com água disponível — a água é a via do problema, não a solução.
  5. (a) No **pH 6,5** (perto do normal); em pH 4,5 a reprodução falha. (b) A acidez **mata ovos e larvas** (etapa mais sensível) e reduz o oxigénio disponível  $\rightarrow$  colapso da cadeia trófica (peixes morrem de fome/asfixia indireta). (c) O calcário reage:  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$  — **neutraliza** parte do ácido (tampão natural) até as rochas se consumirem.
  6.  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$  — o sulfato de cálcio (gesso) é mais solúvel e **desliga-se**: a pedra perde massa, os relevos ficam «derretidos», as arestas arredondadas — é corrosão química lenta mas cumulativa (o vento e a chuva mecânica depois removem o gesso).
  7. O  $\text{SO}_2/\text{NO}_x$  é **levado pelo vento** centenas de km antes de precipitar — as florestas do norte da Europa recebiam a poluição das indústrias do centro/sul («exportação do problema»). Exigiu **cooperação internacional**: a Convenção da UNECE e o **Protocolo de Gotemburgo (1999)** fixaram cortes vinculativos de  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$  ( $\approx$  metade até 2010, com base em tecnologia disponível) — e os dados de pH posteriores mostraram recuperação onde as medidas foram aplicadas.
  8. (1) **Dessulfurização** (lavadores com cal/absorvedores dos fumos)  $\rightarrow$  ataca  $\text{SO}_2$ . (2) **Catalisador do automóvel** (converter  $\text{NO}_x$  em  $\text{N}_2 + \text{O}_2$ )  $\rightarrow$  ataca  $\text{NO}_x$ . (3) **Combustíveis pobres em enxofre** + dessulfurização nas refinarias  $\rightarrow$  ataca a **fonte** do  $\text{SO}_2$  (prevenção antes da chaminé). Acresce: conversão eficiente (menos  $\text{NO}_x$  por T controlada).
  9. mais **transporte coletivo** e **bicicleta** (menos  $\text{NO}_x$ ) · mais **renováveis** e **eficiência** (menos queima de fósseis  $\rightarrow$  menos  $\text{SO}_2/\text{NO}_x$ ) · em casa: **poupar energia/temperatura**. Contam porque a **procura** de energia define quanto se queima — o consumidor é o fim da cadeia que alimenta a indústria (e o voto/pressão social muda as políticas: Gotemburgo).
  10. (a) **Encosta industrial (4,1)** — o mais longe do normal;  $10^{(5,6-4,1)} \approx 32\times$  mais ácida que a de campo. (b) Os gradientes apontam as fontes: cidade > campo  $\rightarrow$  **tráfego ( $\text{NO}_x$ )**; industrial > cidade  $\rightarrow$   $\text{SO}_2$ . O gráfico é **primário** (medições diretas de campo) — secundário seria um atlas compilado por terceiros.
  11. (a)  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  (neutralização base + ácido). (b) É **paliativo**: neutraliza o que lá está, mas se a central continuar a emitir, o lago re-acidifica — trata-se o sintoma. (c) «Solução» é ao nível da **fonte**: filtrar os fumos, queimar limpo, mudar o matriz energético — a medida que corta a causa (nível industrial/social).
  12. Resposta possível: o  $\text{SO}_2$  das centrais (queima de fósseis ricos em enxofre) oxida-se no ar e forma  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , que precipita: abaixo do limiar de **pH 5,6** a chuva passa a «ácida» (pH 4  $\approx 40\times$  mais ácida). Em solo: lava Ca/Mg e liberta  $\text{Al}^{3+}$  **tóxico**  $\rightarrow$  florestas debilitadas; em águas: mata larvas e peixes; em monumentos:  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$   $\rightarrow$  corrosão. A lei é viável porque a **tecnologia existe** (dessulfurização, combustíveis pobres em enxofre) e o custo é comparável ao dano — e Gotemburgo (1999) **mostrou que funciona**: cortes de  $\sim 50\%$  e pH em recuperação. É interdisciplinar: **química** (formação/neutralização), **economia** (custo da filtragem vs dano), **ética** (quem paga, quem sofre, responsabilidade transfronteiriça) — a tomada de decisão fundamentada que as AE apontam como finalidade.
- Nota:** quatro blocos —  $\text{CO}_2$ /limiar 5,6 ·  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x \rightarrow$  **fortes** · **consequências por componente** · **minimização em 3 níveis** + **Gotemburgo**. Fecha o ácido-base aplicado com as fichas 11–12.