



PROGRAMA NACIONAL OLIMPÍADAS DE QUÍMICA

# XXXII OLIMPÍADA NORTE-NORDESTE DE QUÍMICA

Edição 2026



## INFORMAÇÕES

Prezados estudantes, estamos felizes em recebê-los para essa etapa regional do Programa Nacional Olimpíadas de Química referente a XXXII Olimpíada Norte-Nordeste de Química.

### DA PROVA PRESENCIAL

DIA DA PROVA: **29 DE MAIO DE 2026**

HORÁRIO: **DAS 14 ÀS 18 H, HORÁRIO DE BRASÍLIA**

- Tolerância de 30 min para ingresso em sala (14:30 h)

- Saída somente 1 h após o início da prova (15:00 h)

### DA PROVA

Constará de 5 questões analítico-expositivas, onde, cada questão terá 4 itens associados a diferentes conteúdos correlatos a ideia exposta ou a um único assunto explorado.

Você, aluno, receberá no mínimo 5 folhas para resposta, em que:

1. irá se identificar a partir do número de inscrição
2. **não colocar seu nome ou qualquer outra marca**
3. além do número de inscrição, deverá marcar qual questão está respondendo na prova
4. tente ser organizado e responder as alternativas em sequência
5. poderá ser usado o verso da mesma para continuar o desenvolvimento da resposta
6. não poderá ter respostas de mais de uma questão na mesma folha de resposta

Verifique a prova observando se há falhas ou imperfeições gráficas que lhe causem dúvidas.

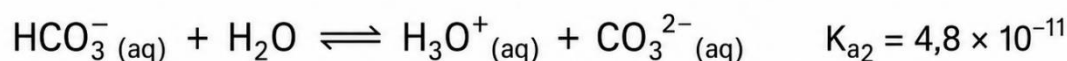
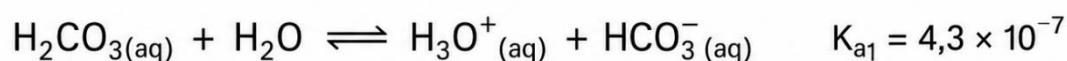
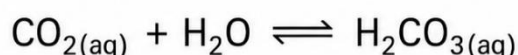
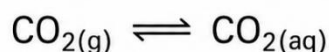
**QUALQUER RECLAMAÇÃO SERÁ ACEITA SOMENTE DURANTE OS 30 MINUTOS INICIAIS.**

É permitido o uso de calculadoras, inclusive, científicas. Porém, não é permitido o uso de calculadoras programáveis de qualquer tipo e o uso de demais equipamentos eletrônicos como smartphones, tablets e notebooks.

## QUESTÕES ANALÍTICO EXPOSITIVAS

**Questão 01.** À medida que a água presente nas nuvens entra em equilíbrio com a atmosfera, ela dissolve gases da atmosfera, resultando na chuva ligeiramente ácida devido ao  $\text{CO}_2$  dissolvido, levando a um pH que, por vezes, chega a ser tão baixo quanto 5,6. A acidez da água da chuva em áreas industriais é maior, com pH tão baixo quanto 3,5 ou até mesmo 2 em algumas regiões. No entanto, em corpos d'água naturais frequentemente contendo carbonatos de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , dissolvidos de rochas carbonáticas, a ação tamponante neutraliza a acidez da chuva, sendo esse mecanismo de tamponamento importante para a manutenção da vida aquática.

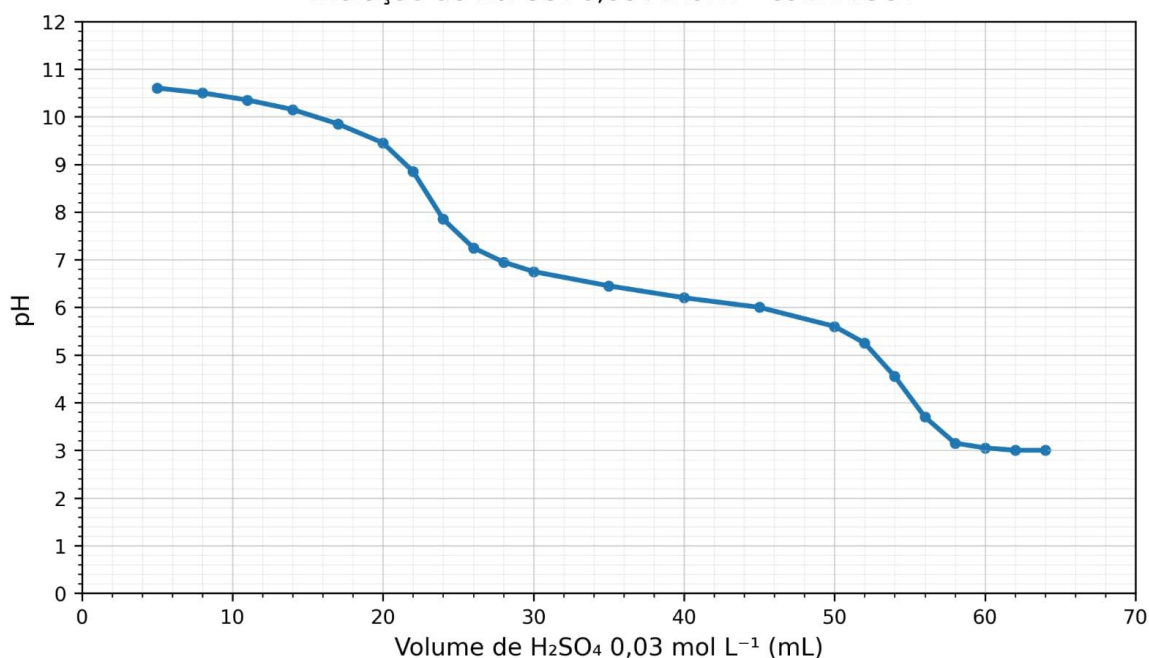
Nesse sentido, o sistema tampão de carbonatos é composto por várias espécies e os equilíbrios entre essas espécies são regidos pelas seguintes reações:



A capacidade de um tampão resistir a mudanças no pH depende da concentração total das espécies tamponantes, bem como da sua proporção de concentração, sendo a capacidade tamponante de uma determinada solução definida como o número de mols de um ácido forte ou de uma base forte que altera o pH de 1 L do tampão em 1 unidade.

Um experimento de laboratório foi projetado para simular a ação tamponante de soluções de carbonato, no qual **300 mL de solução de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0,004 mol/L** foram titulados com ácido sulfúrico **0,03 mol/L**, e o seguinte gráfico foi obtido.

Titulação de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0,004 mol  $\text{L}^{-1}$  com  $\text{H}_2\text{SO}_4$



Com base no gráfico e nas informações fornecidas, responda às seguintes perguntas:

a) Com base nos valores de  $pK_{a1}$  e  $pK_{a2}$  do sistema carbonato, indique as faixas aproximadas de pH em que esse sistema apresenta melhor ação tamponante. A partir disso, indique em quais faixas de pH não se espera boa ação tampão baseada em espécies de carbonato.

b) Com base no gráfico obtido para a titulação de 300 mL de solução de  $Na_2CO_3$  0,004 mol/L com  $H_2SO_4$  0,03 mol/L, estime o volume de ácido necessário para reduzir o pH da solução em aproximadamente 1 unidade. Em seguida, estime o volume correspondente para 1 L da mesma solução.

c) A solução saturada de  $CaCO_3$  apresenta solubilidade igual a  $1,1 \times 10^{-4}$  mol/L. Calcule a quantidade, em mol, de carbonato dissolvido em 300 mL dessa solução saturada.

d) Compare a concentração de carbonato na solução de  $Na_2CO_3$  0,004 M com a concentração de carbonato na solução saturada de  $CaCO_3$ . Com base nessa comparação, indique qual solução tende a apresentar maior capacidade de neutralizar a acidez da chuva e justifique.

### GABARITO

a) Dados:  $K_{a1} = 4,3 \times 10^{-7}$                        $K_{a2} = 4,8 \times 10^{-11}$

Cálculo dos pKa:

$$pK_{a1} = -\log(4,3 \times 10^{-7}) \approx 6,4$$

$$pK_{a2} = -\log(4,8 \times 10^{-11}) \approx 10,3$$

Um sistema tampão apresenta melhor ação aproximadamente em:  $pH = pK_a \pm 1$

Logo:

Para o par  $H_2CO_3/HCO_3^-$ :

$$pH \approx 6,4 \pm 1$$

$$pH \approx 5,4 \text{ a } 7,4$$

Para o par  $HCO_3^-/CO_3^{2-}$ :

$$pH \approx 10,3 \pm 1$$

$$pH \approx 9,3 \text{ a } 11,3$$

Resposta: as melhores faixas tamponantes são aproximadamente 5,4 a 7,4 e 9,3 a 11,3.

**Não se espera boa ação tampão em  $pH < 5,4$ , entre 7,4 e 9,3 e em  $pH > 11,3$ .**

---

b) Pela leitura do gráfico, para 300 mL da solução de  $Na_2CO_3$  0,004 mol/L, a redução aproximada de 1 unidade de pH ocorre com cerca de:

**20 mL de  $H_2SO_4$  0,03 mol/L**

Para estimar o volume correspondente a 1 L, faz-se uma proporção:

$$\begin{array}{l} 20 \text{ mL de ácido} \rightarrow 300 \text{ mL de solução} \\ x \quad \quad \quad \rightarrow 1000 \text{ mL de solução} \\ x = 20 \times 1000 / 300 \end{array}$$

$$x = 66,7 \text{ mL}$$

**Resposta: para 300 mL, aproximadamente 20 mL de  $H_2SO_4$  para reduzir em 1 unidade o pH. Para 1 L, aproximadamente, 67 mL de  $H_2SO_4$  0,03 mol/L.**

---

c) Dados:

Solubilidade do  $\text{CaCO}_3 = 1,1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$

Volume = 300 mL = 0,300 L

Cálculo:

$$n = C \times V$$

$$n = 1,1 \times 10^{-4} \times 0,300$$

$$n = \mathbf{3,3 \times 10^{-5} \text{ mol}}$$

**Resposta: há aproximadamente  $3,3 \times 10^{-5}$  mol de carbonato dissolvido em 300 mL da solução saturada de  $\text{CaCO}_3$ .**

---

d) Concentração de carbonato na solução de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :

$$0,004 \text{ mol/L} = 4,0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$$

Concentração de carbonato na solução saturada de  $\text{CaCO}_3$ :

$$1,1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

Comparação:

$$4,0 \times 10^{-3} / 1,1 \times 10^{-4} \approx 36$$

**Resposta: a solução de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0,004 mol/L apresenta maior capacidade imediata de neutralizar a acidez da chuva, pois possui cerca de 36 vezes mais carbonato dissolvido que a solução saturada de  $\text{CaCO}_3$ .**

**Questão 02.** Desastres nucleares podem liberar isótopos radioativos de iodo que são altamente prejudiciais à saúde humana, especialmente à glândula tireoide. Para prevenir a absorção dessas espécies radioativas, pode-se administrar uma dose diária de iodo equivalente a 130 mg de iodeto de potássio. No entanto, por ser uma substância instável e que pode se degradar facilmente, o governo do Reino Unido optou por estocar o iodato de potássio, como fonte do elemento iodo mais estável para esse fim.

a) Calcule a massa de iodato de potássio em gramas que contém a mesma quantidade de iodo que 130 mg de iodeto de potássio.

b) i) Os íons iodato reagem com os íons iodeto em condições ácidas para produzir iodo. Escreva uma equação iônica balanceada para a reação entre íons iodato e íons iodeto em condições ácidas.

ii) Esta reação é usada para determinar a concentração de íons iodato em uma amostra. Considerando que a amostra reage com excesso de iodeto de potássio em condições ácidas, e o iodo formado é titulado com uma solução de íons  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ , produzindo íons iodeto e íons  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ . Escreva a equação iônica balanceada para a reação entre íons tiosulfato e iodo.

c) O mineral iodato salesita tem a fórmula molecular  $\text{M}(\text{IO}_3)\text{Z}$ , onde **M** é um íon metálico e **Z** é um ânion. A proporção dos três íons no mineral é 1:1:1 e a massa molar do mineral é  $255,46 \text{ g mol}^{-1}$ . Sabendo que 1,000 g do mineral foram dissolvidos em  $30 \text{ cm}^3$  de  $\text{HNO}_3$   $2 \text{ mol dm}^{-3}$ . A solução resultante foi completada para  $100,0 \text{ cm}^3$  com água destilada, formando uma solução estoque.  $10,00 \text{ cm}^3$  desta solução estoque reagiram com excesso de iodeto de potássio. O iodo formado foi titulado com solução de tiosulfato de sódio  $0,1000 \text{ mol dm}^{-3}$ . Calcule o volume de solução de tiosulfato de sódio em  $\text{cm}^3$  necessário para reagir com o iodo produzido.

d) Suponha que todo o iodo foi formado na reação dos íons iodato com íons iodeto. Entretanto, o íon metálico  $Mn^{n+}$  neste mineral também reage com íons iodeto para formar iodo adicional. Portanto, o volume real da solução de tiosulfato de sódio necessário na titulação foi encontrado como sendo  $27,40 \text{ cm}^3$ . Calcule o número de mols de iodo produzidos pela reação de um mol de íon metálico  $Mn^{n+}$  ( $M^{n+}$ ) com excesso de íons iodeto. No cálculo do volume de solução de tiosulfato necessário para reagir com o iodo formado pela reação do íon metálico com iodeto, considerar o volume de solução de tiosulfato de sódio que reagiu com o iodo produzido no item anterior.

**GABARITO**

a)

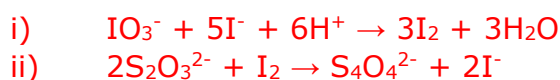
$$= \frac{130 \text{ mg}}{(39.102 + 126.90) \text{ g mol}^{-1}} \times (39.102 + 126.90 + (3 \times 16.00)) \text{ g mol}^{-1}$$

$$= 168 \text{ mg} = 0.168 \text{ g}$$

**Resposta: 0,168 g.**

---

b)



c)

$$= \frac{1.000 \text{ g}}{255.46 \text{ g mol}^{-1}} \times \frac{10.00 \text{ cm}^3}{100.0 \text{ cm}^3} = 3.9145 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$\therefore 3.9145 \times 10^{-4} \text{ mol} \times 3 = 1.1744 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$\text{reacts} = 1.1744 \times 10^{-3} \text{ mol} \times 2 = 2.3487 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$V = \frac{2.3487 \times 10^{-3} \text{ mol}}{0.1000 \text{ mol dm}^{-3}} = 0.02349 \text{ dm}^3 = 23.49 \text{ cm}^3$$

**Resposta: 23,49 cm<sup>3</sup>.**

---

d)

Volume do Excesso:  $27,4 \text{ cm}^3 - 23,49 \text{ cm}^3 = 3,91 \text{ cm}^3$

$$3.91 \times 10^{-3} \text{ dm}^3 \times 0.1000 \text{ mol dm}^{-3} \times \frac{1}{2} = 1.955 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$\frac{n_{I_2}}{n_{M^{n+}}} = \frac{1.955 \times 10^{-4} \text{ mol}}{3.9145 \times 10^{-4} \text{ mol}} = 0.49943 = 0.5$$

**Resposta: 3,91 cm<sup>3</sup>; 0,5 mol. (Anulada, pontos redistribuídos na questão)**

**Questão 03.** A contaminação de águas superficiais por corantes sintéticos, resíduos farmacêuticos e defensivos agrícolas é uma preocupação crescente na Química Ambiental. Muitos desses compostos apresentam elevada estabilidade química, baixa biodegradabilidade e podem persistir no ambiente por longos períodos, afetando organismos aquáticos e a qualidade da água.

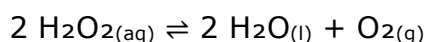
Uma alternativa estudada para reduzir esse problema é o uso de processos oxidativos avançados, nos quais espécies altamente reativas, como radicais hidroxila, podem degradar moléculas orgânicas contaminantes. Em uma abordagem alinhada aos princípios da Química Verde, pesquisadores investigaram o uso de um catalisador heterogêneo à base de óxidos metálicos suportados em biochar (biocarvão) obtido de resíduos agroindustriais, visando reduzir o consumo de reagentes, reaproveitar biomassa e permitir a recuperação do catalisador ao final do processo.

Em um experimento de laboratório, uma solução aquosa contendo um poluente orgânico foi tratada com peróxido de hidrogênio na presença desse catalisador. A reação global simplificada pode ser representada por:



Durante o estudo, verificou-se que a degradação do poluente seguia aproximadamente uma cinética de primeira ordem em relação ao poluente, nas condições experimentais adotadas. A concentração inicial do poluente era de 80 mg/L, e a constante de velocidade aparente foi  $k = 0,023 \text{ min}^{-1}$ .

Além disso, observou-se que o peróxido de hidrogênio em excesso poderia sofrer decomposição, segundo o equilíbrio:



O aumento excessivo da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , embora possa acelerar inicialmente a degradação, também pode reduzir a eficiência do processo, pois favorece reações paralelas, desperdício de reagente e maior liberação de oxigênio.

Dados:  $C = C_0 \cdot e^{-kt}$  e  $t_{1/2} = 0,693/k$

Com base no contexto apresentado, responda aos itens a seguir.

a) Explique por que a degradação de poluentes orgânicos persistentes em água pode ser analisada sob a perspectiva da cinética química. Em seguida, considerando que a reação segue cinética de primeira ordem em relação ao poluente, calcule a concentração do poluente após 60 minutos de tratamento.

b) Calcule o tempo de meia-vida do poluente nas condições do experimento e explique o significado ambiental desse parâmetro.

c) Explique como o equilíbrio de decomposição do peróxido de hidrogênio pode interferir na eficiência do processo de degradação do poluente. Em sua resposta, relacione o excesso de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , a formação de  $\text{O}_2$  e o deslocamento do equilíbrio.

d) Em dois experimentos, foram usados catalisadores diferentes para degradar o mesmo poluente, nas mesmas condições de temperatura, volume e concentração inicial. Os resultados obtidos após 60 minutos foram:

Experimento	Catalisador utilizado	Concentração final do poluente
1	Óxido metálico comercial	28 mg/L
2	Óxido metálico suportado em biochar	20 mg/L

Considerando que a concentração inicial do poluente era 80 mg/L, calcule a porcentagem de remoção do poluente em cada experimento. Em seguida, indique qual catalisador apresentou melhor desempenho e cite uma vantagem ambiental do uso de biochar produzido a partir de resíduos agroindustriais.

### GABARITO

a) A degradação pode ser analisada pela cinética química porque envolve a variação da concentração do poluente ao longo do tempo.

Dados:

$$C_0 = 80 \text{ mg/L}$$

$$k = 0,023 \text{ min}^{-1}$$

$$t = 60 \text{ min}$$

Equação:

$$C = C_0 \cdot e^{-kt}$$

Substituindo:

$$C = 80 \cdot e^{-(0,023 \times 60)}$$

$$C = 80 \cdot e^{-1,38}$$

Como:

$$e^{-1,38} \approx 0,25$$

$$C \approx 80 \times 0,25$$

$$C \approx 20 \text{ mg/L}$$

**Resposta: após 60 minutos, a concentração do poluente será aproximadamente 20 mg/L.**

b) Dados:

$$k = 0,023 \text{ min}^{-1}$$

Equação:

$$t_{1/2} = 0,693/k$$

Substituindo:

$$t_{1/2} = 0,693 / 0,023$$

$$t_{1/2} \approx 30,1 \text{ min}$$

**Resposta: o tempo de meia-vida é aproximadamente 30 minutos. Isso significa que, nas condições do experimento, a concentração do poluente é reduzida à metade a cada 30 minutos.**

c) O peróxido de hidrogênio pode se decompor conforme o equilíbrio:



Quando há excesso de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , parte dele pode ser consumida nessa reação paralela, formando água e oxigênio em vez de atuar na degradação do poluente.

**Resposta: o excesso de  $\text{H}_2\text{O}_2$  pode reduzir a eficiência do processo porque favorece sua decomposição, desperdiçando oxidante e aumentando a liberação de  $\text{O}_2$ .**

---

d) Concentração inicial:  $C_0 = 80 \text{ mg/L}$

Experimento 1:  $C_{\text{final}} = 28 \text{ mg/L}$

Quantidade removida:  $80 - 28 = 52 \text{ mg/L}$

Porcentagem de remoção:  $52/80 \times 100 = 65\%$

Experimento 2:  $C_{\text{final}} = 20 \text{ mg/L}$

Quantidade removida:  $80 - 20 = 60 \text{ mg/L}$

Porcentagem de remoção:  $60/80 \times 100 = 75\%$

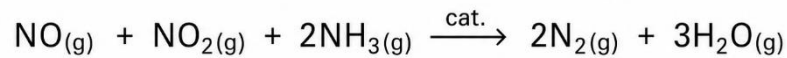
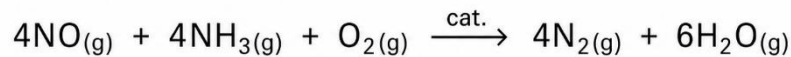
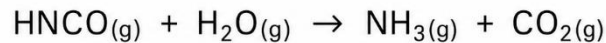
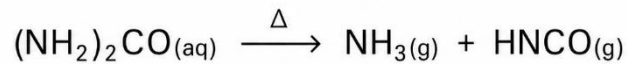
**Resposta: o catalisador com melhor desempenho foi o óxido metálico suportado em biochar, pois removeu 75% do poluente, enquanto o óxido metálico comercial removeu 65%.**

**Questão 04.** O óleo diesel é um derivado do petróleo constituído de uma mistura complexa de hidrocarbonetos de 8 a 16 carbonos. Além de hidrocarbonetos, o diesel contém pequena concentração de enxofre e de nitrogênio. O diesel é classificado no Brasil pelo seu teor de enxofre em S10 (teor máximo de 10 mg/kg ou 10 ppm), S500 (teor máximo de 500 mg/kg ou 500 ppm) e S1800 (teor máximo de 1,8 g/kg ou 1800 ppm). O teor de nitrogênio no diesel é 100 mg/kg ou 100 ppm.

O ciclo do diesel no motor envolve inicialmente a admissão apenas de ar, seguida de uma compressão adiabática do ar, o que rapidamente reduz drasticamente o volume, aumentando a pressão e a temperatura. Em seguida, após atingir a temperatura de autoignição do diesel, o combustível é pulverizado na câmara, vaporiza e entra em ignição instantaneamente, num processo isobárico. A pressão rapidamente aumenta, gerando uma expansão adiabática em que os gases provenientes da combustão empurram o pistão para baixo, produzindo trabalho mecânico. Em seguida, a válvula de escape se abre, liberando os gases e reiniciando o ciclo.

No Brasil, todos os veículos leves (picapes) e pesados (ônibus, caminhões e tratores) fabricados após 2012 rodam obrigatoriamente com diesel S10. A frota antiga ainda pode utilizar S500, porém apenas em transporte rodoviário, enquanto o S1800 é utilizado em ferrovias e termelétricas. A ANP determinou que, aos poucos, todo o diesel do Brasil seja substituído pelo S10, já representando 70% do total nos dias de hoje.

A alta temperatura pós-combustão nos motores a diesel, que pode alcançar 2.500 °C, juntamente com a alta concentração de ar comprimido, leva à formação de  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ ) pelo mecanismo de Zeldovich. Para que esses compostos poluentes não sejam liberados na atmosfera, os gases de escape reagem com o Arla32 (32,5% ureia em 67,5% de água desmineralizada) dentro do catalisador, reduzindo o  $\text{NO}_x$ .



- a) Considerando a densidade média do diesel no Brasil de  $835 \text{ kg/m}^3$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , qual massa de  $\text{SO}_2$  é liberada na atmosfera pela queima de 50 L de diesel S10? E por 50 L de S500?
- b) Considerando a fórmula molecular média do diesel  $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ , qual massa de  $\text{CO}_2$  é liberada na atmosfera pela combustão completa dos mesmos 50 L de diesel?
- c) Quanto Arla32 é necessário para eliminar 100% das emissões de  $\text{NO}_x$  da combustão de 50 L de diesel? Considere  $\text{N} + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}$ .
- d) Todos esses gases poluentes causam chuva ácida. Escreva as reações balanceadas dessa formação.

### **GABARITO**

**a)** Volume de diesel: 50 L

Densidade:  $835 \text{ kg/m}^3 = 0,835 \text{ kg/L}$

Massa de diesel:

$$m = d \times V$$

$$m = 0,835 \times 50$$

$$m = 41,75 \text{ kg}$$

### **Diesel S10**

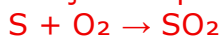
Teor de enxofre: 10 mg de S / kg de diesel

Massa de enxofre:

$$m(\text{S}) = 10 \times 41,75$$

$$m(\text{S}) = 417,5 \text{ mg}$$

Reação simplificada:



Massa molar do S = 32 g/mol

Massa molar do  $\text{SO}_2$  = 64 g/mol

Logo, a massa de  $\text{SO}_2$  é o dobro da massa de S:

$$m(\text{SO}_2) = 417,5 \times 2$$

$$m(\text{SO}_2) = 835 \text{ mg}$$

$$m(\text{SO}_2) = 0,835 \text{ g}$$

### **Diesel S500**

Teor de enxofre:

500 mg de S / kg de diesel

Massa de enxofre:  
 $m(S) = 500 \times 41,75$   
 $m(S) = 20.875 \text{ mg}$   
 $m(S) = 20,875 \text{ g}$

Massa de  $\text{SO}_2$ :  
 $m(\text{SO}_2) = 20,875 \times 2$   
 $m(\text{SO}_2) = 41,75 \text{ g}$

**Resposta: Diesel S10: 0,835 g de  $\text{SO}_2$  e Diesel S500: 41,75 g de  $\text{SO}_2$**

---

**b) Fórmula molecular média do diesel:  $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$**

Massa molar:  
 $\text{C}_{12}\text{H}_{26} = 12 \times 12 + 26 \times 1$   
 $\text{C}_{12}\text{H}_{26} = 144 + 26$   
 $\text{C}_{12}\text{H}_{26} = 170 \text{ g/mol}$

Massa de diesel:  
 $41,75 \text{ kg} = 41.750 \text{ g}$

Quantidade de matéria de diesel:  
 $n = m/M$   
 $n = 41.750 / 170$   
 $n \approx 245,6 \text{ mol}$

Combustão completa:  
$$2 \text{C}_{12}\text{H}_{26} + 37 \text{O}_2 \rightarrow 24 \text{CO}_2 + 26 \text{H}_2\text{O}$$

Pela equação:  
1 mol de  $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$  forma 12 mol de  $\text{CO}_2$   
 $n(\text{CO}_2) = 245,6 \times 12$   
 $n(\text{CO}_2) \approx 2947 \text{ mol}$

Massa de  $\text{CO}_2$ :  
 $m = n \times M$   
 $m = 2947 \times 44$   
 $m \approx 129.668 \text{ g}$   
 $m \approx 129,7 \text{ kg}$

**Resposta: a combustão completa de 50 L de diesel libera aproximadamente 130 kg de  $\text{CO}_2$ .**

---

**c) Massa de diesel: 41,75 kg**

Teor de nitrogênio: 100 mg/kg

Massa de nitrogênio:  
 $m(N) = 100 \times 41,75$   
 $m(N) = 4175 \text{ mg}$   
 $m(N) = 4,175 \text{ g}$

Quantidade de matéria de nitrogênio:  
 $n(N) = m/M$   
 $n(N) = 4,175 / 14$   
 $n(N) \approx 0,298 \text{ mol}$

Pelo enunciado:



Logo:

1 mol de N forma 1 mol de NO

$$n(\text{NO}) = 0,298 \text{ mol}$$

Pela reação de redução catalítica:



A proporção é:

1 mol de NO reage com 1 mol de  $\text{NH}_3$

Logo:

$$n(\text{NH}_3) = 0,298 \text{ mol}$$

A ureia gera amônia pelas etapas:



Portanto:

1 mol de ureia gera 2 mol de  $\text{NH}_3$

$$n(\text{ureia}) = 0,298 / 2$$

$$n(\text{ureia}) = 0,149 \text{ mol}$$

Massa molar da ureia:

$$(\text{NH}_2)_2\text{CO} = 60 \text{ g/mol}$$

Massa de ureia:

$$m = 0,149 \times 60$$

$$m = 8,94 \text{ g}$$

O Arla32 possui 32,5% de ureia:

$$m(\text{Arla32}) = 8,94 / 0,325$$

$$m(\text{Arla32}) \approx 27,5 \text{ g}$$

**Resposta: são necessários aproximadamente 27,5 g de Arla32.**

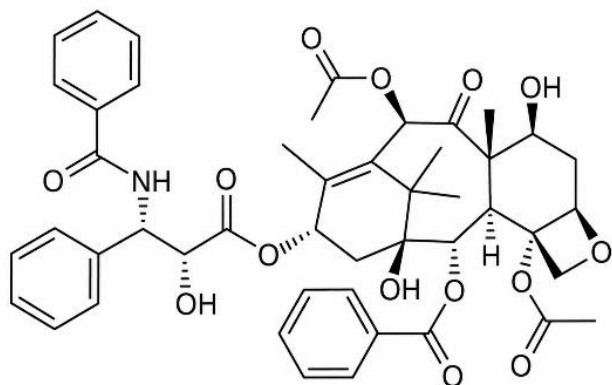
---

**d)**

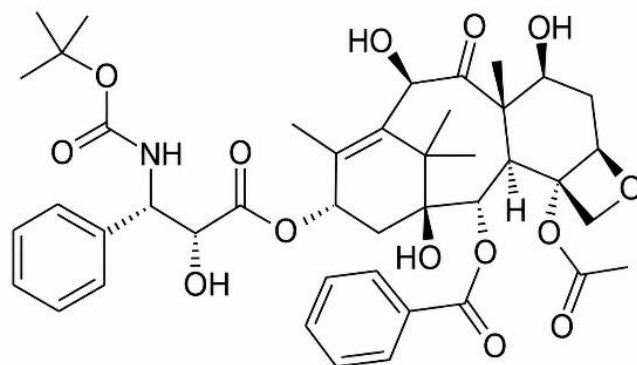


**Resposta: as principais espécies ácidas formadas são  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_2$  e  $\text{HNO}_3$ .**

**Questão 05:** Os **taxanos** constituem uma classe de compostos orgânicos de grande importância farmacológica, especialmente pelo uso de alguns de seus representantes no tratamento de diferentes tipos de câncer. Entre eles, destacam-se o **paclitaxel** e o **docetaxel**, moléculas que atuam interferindo na dinâmica dos microtúbulos celulares, impedindo a divisão celular e induzindo a apoptose (morte da célula). São amplamente utilizados no tratamento de diversos cânceres, como o de mama, ovário e pulmão.



Paclitaxel



Docetaxel

O **paclitaxel** é um produto natural originalmente isolado de espécies do gênero *Taxus*, especialmente da casca do teixo-do-pacífico (*Taxus brevifolia*). Já o **docetaxel** é um taxano semissintético, obtido a partir de precursores naturais extraídos da folha do teixo-europeu (*Taxus baccata*), sendo estruturalmente relacionado ao paclitaxel.

Apesar de pertencerem à mesma classe farmacológica e apresentarem um núcleo taxânico semelhante, essas moléculas possuem diferenças estruturais importantes que influenciam propriedades como polaridade, solubilidade, reatividade, reconhecimento molecular e interação com sistemas biológicos.

Com base nas estruturas do **paclitaxel** e do **docetaxel**, responda aos itens a seguir.

- Identifique quais funções orgânicas estão presentes em ambas as moléculas, indicando seus respectivos nomes. Determine também a fórmula molecular de cada composto.
- A partir da análise das estruturas do paclitaxel e do docetaxel, identifique o número de centros quirais presentes em cada molécula. Em seguida, calcule o número máximo teórico de estereoisômeros possíveis para cada composto.
- Observe os grupos funcionais presentes nas moléculas de paclitaxel e docetaxel. Indique quais desses grupos poderiam sofrer hidrólise em condições adequadas.
- Considerando as diferenças estruturais entre o paclitaxel e o docetaxel, indique qual das duas moléculas teria maior facilidade de atravessar a barreira lipídica da membrana celular por difusão passiva. Justifique sua resposta com base nas características estruturais das moléculas.

## GABARITO

a) Funções orgânicas presentes em ambas as moléculas:

- éster;
- álcool;
- éter;
- cetona;
- amida

Fórmulas moleculares:

**Paclitaxel: C<sub>47</sub>H<sub>51</sub>NO<sub>14</sub>**

**Docetaxel: C<sub>43</sub>H<sub>53</sub>NO<sub>14</sub>**

---

b) As duas estruturas apresentam **11 centros quirais**.

Número máximo teórico de estereoisômeros:

$2^n$

Como  $n = 11$ :

$2^{11} = 2048$

**Resposta: Paclitaxel e Docetaxel apresentam 11 centros quirais e até 2048 estereoisômeros teóricos.**

---

c) Os grupos que podem sofrer hidrólise em condições adequadas são principalmente: **ésteres**

Também podem sofrer hidrólise em condições mais específicas: **amida**, no paclitaxel; **carbamato**, no docetaxel.

**Resposta: os principais grupos hidrolisáveis são ésteres e, em condições adequadas, amida.**

---

d) O **paclitaxel** tende a atravessar com maior facilidade a barreira lipídica da membrana celular por difusão passiva.

**Justificativa: o paclitaxel apresenta maior caráter lipofílico, com mais contribuição de grupos aromáticos e menor polaridade relativa quando comparado ao docetaxel.**