



**Olimpíada Brasileira de Química**  
**Exame Nacional – Fase III - OBQ 2026**

**Modalidade**  
**A**

**G A B A R I T O**

**PARTE I – QUESTÕES DE MULTIPLA ESCOLHA**

| <b>Questão</b> | <b>Alternativa</b> |
|----------------|--------------------|
| 1              | <b>d</b>           |
| 2              | <b>e</b>           |
| 3              | <b>b</b>           |
| 4              | <b>a</b>           |
| 5              | <b>c</b>           |
| 6              | <b>a</b>           |
| 7              | <b>c</b>           |
| 8              | <b>e</b>           |
| 9              | <b>e</b>           |
| 10             | <b>d</b>           |
| 11             | <b>b</b>           |
| 12             | <b>e</b>           |
| 13             | <b>c</b>           |
| 14             | <b>b</b>           |
| 15             | <b>d</b>           |

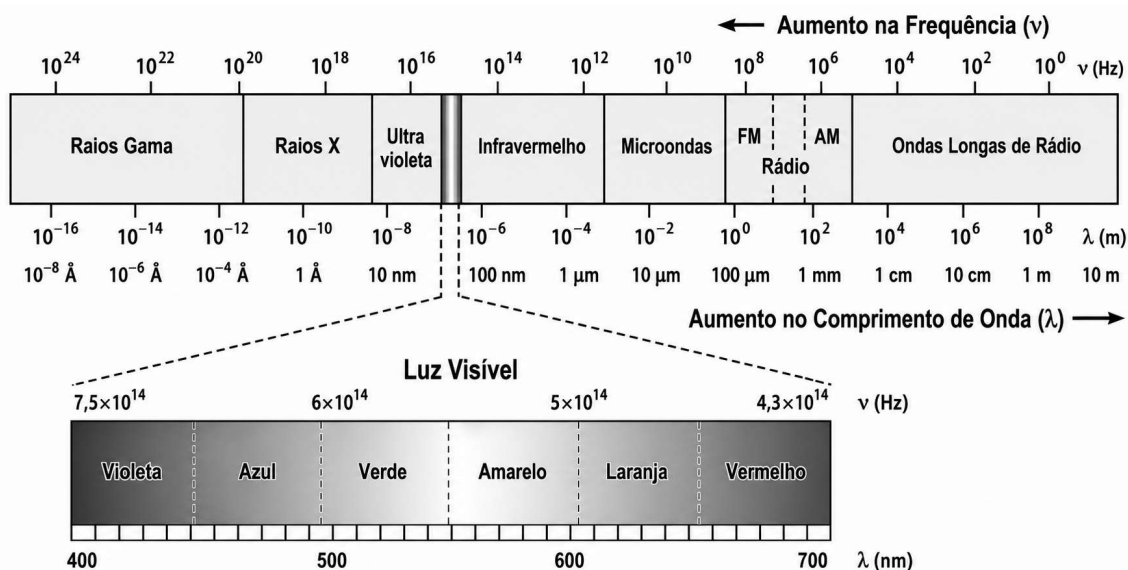


PARTE II – QUESTÕES ANALÍTICO-EXPOSITIVAS

**Questão 16.** Dois metais diferentes, denominados S e T, com diferentes funções trabalho ( $\Phi$ ), são utilizados separadamente em experimentos de efeito fotoelétrico. A ejeção de fotoelétrons nesses metais se inicia quando os fótons da radiação incidente possuem um comprimento de onda de 540,0 nm e 264,0 nm, respectivamente.

**Dados:**  $E = h\nu$ ;  $c = \lambda\nu$ ;  $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ ; em que  $h$  (constante de Planck,  $6,626 \times 10^{-34}$  J s),  $c$  (velocidade da luz no vácuo,  $2,998 \times 10^8$  m s $^{-1}$ ),  $m$  (massa do elétron,  $9,109 \times 10^{-31}$  kg) e  $v$  (velocidade da partícula).

- a) Considerando a figura a seguir, indique qual dos metais (S ou T) pode ser usado para construir uma fotocélula que funcione com luz na região do visível.



Resposta:

O metal S pode ser usado para construir uma fotocélula que funcione com radiação na região do visível.

- b) Calcule a frequência da radiação que provoca o efeito fotoelétrico em cada um desses metais.

Resposta:

Usando a fórmula da frequência:  $\nu = \frac{c}{\lambda}$

- Para o metal S:

$$\nu = \frac{2,998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{540 \times 10^{-9} \text{ m}} = 5,552 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} \text{ ou Hz}$$

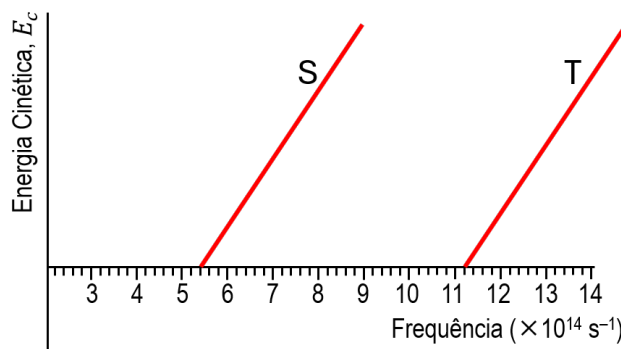
- Para o metal T:

$$\nu = \frac{2,998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{264 \times 10^{-9} \text{ m}} = 1,136 \times 10^{15} \text{ s}^{-1} \text{ ou Hz}$$

- c) Esboce um gráfico de energia cinética ( $E_c$ ) versus frequência ( $\nu$ ), para ambos os metais. Utilize a escala de frequência corretamente.

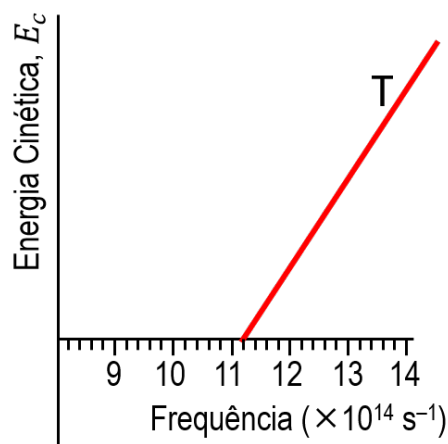
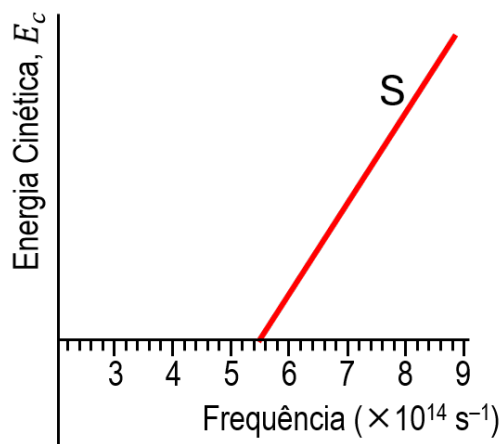
Resposta:

As duas retas precisam ter a mesma inclinação.





ou



- d) Considere que uma radiação de 217,0 nm incide sobre o metal T. Calcule a velocidade (em  $\text{km s}^{-1}$ ) dos fotoelétrons ejetados por esse metal. Para isso, considere que  $E_{\text{incidente}} = \Phi + E_c$ .

Resposta:

Como  $E = \Phi = h\nu$

$$\Phi = (6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}) \times (1,136 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}) = 7,525 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\nu_{\text{incidente}} = \frac{c}{\lambda} = \frac{2,998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{217 \times 10^{-9} \text{ m}} = 1,382 \times 10^{15} \text{ s}^{-1} \text{ ou Hz}$$

$$E_{\text{incidente}} = h\nu_{\text{incidente}} = (6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}) \times (1,382 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}) = 9,154 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Então:

$$E_{\text{incidente}} = \Phi + E_c \Rightarrow E_c = E_{\text{incidente}} - \Phi = 9,154 \times 10^{-19} \text{ J} - 7,525 \times 10^{-19} \text{ J}$$
$$E_c = 1,629 \times 10^{-19} \text{ J}$$

A velocidade é:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}}$$
$$v = \sqrt{\frac{2 \times (1,629 \times 10^{-19} \text{ J})}{9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}}} = 598,1 \text{ km s}^{-1}$$

- e) Ao se dobrar a intensidade da radiação incidente sobre o metal T, indique o que deve ocorrer com a energia cinética dos fotoelétrons ejetados. Justifique sua resposta.

Resposta:

A velocidade dos elétrons não deve ser alterada. O aumento da intensidade da radiação irá aumentar o número de fótons que atinge a placa metálica, assim, o número de fotoelétrons ejetados aumenta, mas, sem aumento da energia cinética.

**Questão 17.** Quando discutimos ligações químicas sob a ótica da teoria da hibridação de orbitais, é comum observarmos mudanças na hibridação dos orbitais de um átomo central de uma molécula neutra em função da adição de ligantes negativamente carregados. Por exemplo, tomemos a formação da espécie química  $\text{BF}_4^-$  (geometria molecular tetraédrica) a partir de  $\text{BF}_3$  (geometria molecular trigonal plana). Esta mudança ocorre porque o par de elétrons do ligante  $\text{F}^-$  é adicionado a um orbital  $p$  vazio do átomo de boro da molécula  $\text{BF}_3$ , fazendo com que a hibridação, antes  $sp^2$ , passe a  $sp^3$ . A substância tetracloretoplatino(II) de potássio,  $\text{K}_2[\text{PtCl}_4]$ , é um composto de coordenação (precursor do quimioterápico *cis*-platina), cuja geometria associada ao íon  $[\text{PtCl}_4]^{2-}$  é quadrada. Diante dessas informações, responda aos itens a seguir.



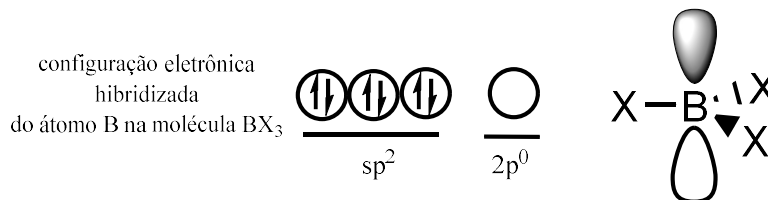
**Olimpíada Brasileira de Química**  
**Exame Nacional – Fase III - OBQ 2026**

**Modalidade**  
**A**

- a) Esquematize a configuração eletrônica hibridada e a geometria dos orbitais ao redor do átomo de boro em  $\text{BF}_3$ .

Resposta:

A configuração eletrônica hibridizada do átomo B no  $\text{BF}_3$ , bem como a geometria molecular, está disposta no esquema abaixo.

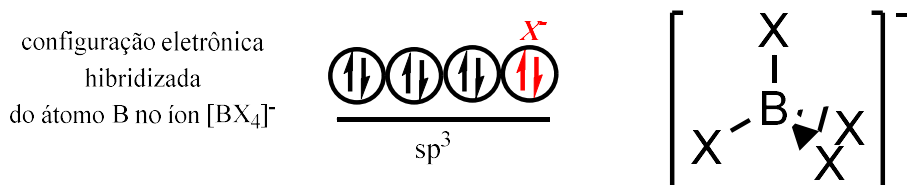


Notamos que o sistema molecular apresenta vacância sobre o átomo de boro, através do orbital p vazio.

- b) Esquematize a configuração eletrônica hibridada e a geometria dos orbitais ao redor do átomo de boro em  $\text{BF}_4^-$ .

Resposta:

Considerando o apresentado anteriormente, em função da incompletude do octeto do átomo de boro, este poderia se associar a um outro ligante  $\text{X}^-$ , atingindo estabilidade eletrônica através do octeto completo, como podemos verificar no esquema abaixo.



- c) Sabendo que a platina possui configuração eletrônica  $[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^9 6s^1$ , apresente a configuração eletrônica do íon  $\text{Pt}^+$ .

Resposta:

A platina apresenta configuração eletrônica  $\text{Pt}: [\text{Xe}] 4f^{14} 5d^9 6s^1$ . Sendo assim, obedecendo à Regra de Hund, a configuração eletrônica final do cátion seria  $\text{Pt}^+: [\text{Xe}] 4f^{14} 5d^9$ .

- d) Apresente a configuração eletrônica do íon  $\text{Pt}^{2+}$ .

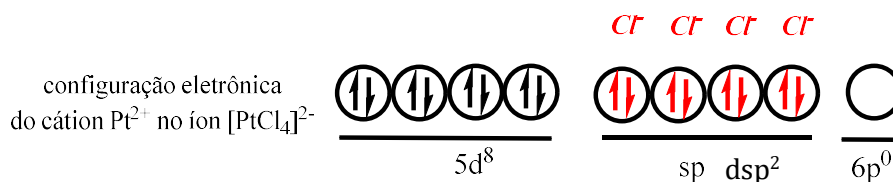
Resposta:

A platina apresenta configuração eletrônica  $\text{Pt}: [\text{Xe}] 4f^{14} 5d^9 6s^1$ . Sendo assim, obedecendo à Regra de Hund, a configuração eletrônica final do cátion seria  $\text{Pt}^{2+}: [\text{Xe}] 4f^{14} 5d^8$ .

- e) Apresente e explique a hibridação dos orbitais ao redor do átomo de platina no íon  $[\text{PtCl}_4]^{2-}$ .

Resposta:

Considerando o esquema de configuração apresentado no item d), os quatro ligantes  $\text{Cl}^-$  se aproximarão do íon  $\text{Pt}^{2+}$  através de quatro orbitais híbridos, provenientes da hibridização envolvendo um orbital atômico s (nível 6), dois orbitais atômicos p (nível 6) e um orbital d (nível 5), como apresentado no esquema abaixo.



Logo, a hibridização dos orbitais ao redor do átomo de Pt, no íon  $[\text{PtCl}_4]^{2-}$ , é do tipo  $\text{dsp}^2$ .

**Questão 18.** A vida na Terra é possível graças à energia emitida pelo Sol. Essa energia é produzida em seu núcleo por meio da fusão nuclear, processo no qual núcleos de hidrogênio se unem para formar hélio, liberando uma enorme quantidade de energia.



O núcleo do Sol é constituído por aproximadamente 36% de hidrogênio ( $^1\text{H}$ ) e 64% de hélio ( $^4\text{He}$ ) em massa. Devido às elevadas temperaturas e pressões existentes nessa região, os átomos encontram-se completamente ionizados, isto é, todos os elétrons foram removidos. Esse estado da matéria é denominado plasma e é formado por prótons, núcleos de hélio e elétrons livres.

Considere que, no núcleo do Sol, a densidade é igual a  $158 \text{ g cm}^{-3}$  e a pressão é igual a  $2,5 \times 10^{11} \text{ atm}$ .

- a) Calcule o número total de quantidade de substância de partículas (prótons, núcleos de hélio e elétrons), presentes em  $1 \text{ cm}^3$  do núcleo do Sol.

Resposta:

Cálculo das quantidades de mols por volume:

$$d = \frac{m}{V} = \frac{nM}{V}$$
$$\frac{n}{V} = \frac{d}{M}$$

Prótons (tem 36%, logo a contribuição relativa é 0,36), então:

$$\left(\frac{n}{V}\right)_p = \frac{158 \text{ g cm}^{-3}}{1 \text{ g mol}^{-1}} \times 0,36 = 57 \text{ mol cm}^{-3}$$

Núcleo de hélio (64%, corresponde a 0,64):

$$\left(\frac{n}{V}\right)_{\text{He}} = \frac{158 \text{ g cm}^{-3}}{4 \text{ g mol}^{-1}} \times 0,64 = 25 \text{ mol cm}^{-3}$$

Elétrons:

$$\left(\frac{n}{V}\right)_e = \left(\frac{n}{V}\right)_p + 2\left(\frac{n}{V}\right)_{\text{He}} = (57 + 2 \times 25) \text{ mol cm}^{-3} = 107 \text{ mol cm}^{-3}$$

Número total de mols por volume:

$$\left(\frac{n}{V}\right)_e + \left(\frac{n}{V}\right)_p + \left(\frac{n}{V}\right)_{\text{He}} = (57 + 25 + 107) \text{ mol cm}^{-3} = 189 \text{ mol cm}^{-3}$$

- b) Calcule a porcentagem do volume efetivamente ocupado pelas partículas nas seguintes situações:
- hidrogênio gasoso ( $\text{H}_2$ ), a 300 K e 1 atm;
  - hidrogênio líquido, cuja densidade é  $0,09 \text{ g cm}^{-3}$ .
- c) Considere que:
- o volume de uma molécula de hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) é igual ao dobro do volume de um átomo de hidrogênio;
  - o átomo de hidrogênio pode ser considerado uma esfera de raio igual ao raio de Bohr,  $r_B = 0,53 \times 10^{-8} \text{ cm}$ .

Compare os valores obtidos para os dois estados físicos.

Resposta (itens “b” e “c” unificados):

Porcentagem do volume efetivamente ocupado:

Volume de uma molécula de hidrogênio ( $\text{H}_2$ ):

$$V(\text{H}_2) = 2V = 2 \times \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$V(\text{H}_2) = 2 \times \frac{4}{3} \times 3,1416 \times \pi (0,53 \times 10^{-8} \text{ cm})^3 \approx 1,2 \times 10^{-24} \text{ cm}^3$$

- $\text{H}_2$  gasoso (300 K e 1 atm):

$$pV = nRT$$
$$\frac{V}{n} = \frac{RT}{p} = \frac{(0,082 \text{ atm L K}^{-1} \text{ mol}^{-1})(300 \text{ K})}{1 \text{ atm}} \approx 24,6 \text{ L mol}^{-1}$$
$$\frac{V}{n} = \frac{RT}{p} = \frac{(0,082 \text{ atm L K}^{-1} \text{ mol}^{-1})(300 \text{ K})}{1 \text{ atm}} \approx 24,6 \text{ L mol}^{-1}$$



$$\frac{V}{N} = 24,6 \text{ L mol}^{-1} \times \frac{1 \text{ mol}}{6,0 \times 10^{23} \text{ molécula}} \approx 4,1 \times 10^{-23} \text{ L molécula}^{-1}$$

$$V(\text{H}_2, g) = 4,1 \times 10^{-23} \text{ L molécula}^{-1} \times \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} = 4,1 \times 10^{-20} \text{ cm}^3$$

Fazendo a razão entre os dois volumes calculados, tem-se que:

$$\frac{1,2 \times 10^{-24} \text{ cm}^3}{4,1 \times 10^{-20} \text{ cm}^3} = 2,93 \times 10^{-5} \text{ ou } 0,00293 \%$$

- H<sub>2</sub> líquido

$$d = \frac{m}{V} = \frac{nM}{V}$$

$$\frac{V}{n} = \frac{M}{d} = \frac{2 \text{ g mol}^{-1}}{0,09 \text{ g cm}^{-3}} \approx 22,22 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

$$\frac{V}{N} = 22,22 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1} \times \frac{1 \text{ mol}}{6,0 \times 10^{23} \text{ molécula}} = 3,7 \times 10^{-23} \text{ cm}^3 \text{ molécula}^{-1}$$
$$V(\text{H}_2, l) = 3,7 \times 10^{-23} \text{ cm}^3$$

Fazendo a razão entre os dois volumes calculados, tem-se que:

$$\frac{1,2 \times 10^{-24} \text{ cm}^3}{3,7 \times 10^{-23} \text{ cm}^3} = 3,24 \times 10^{-2} \text{ ou } 3,24 \%$$

- d) Sabendo que no núcleo do Sol os átomos encontram-se completamente ionizados, formando um plasma constituído por prótons, núcleos de hélio e elétrons livres, calcule a porcentagem do volume ocupado por essas partículas em 1 cm<sup>3</sup> de plasma. (plasma solar: desprezar o volume dos elétrons)

Resposta:

Porcentagem do volume ocupada por essas partículas em 1 cm<sup>3</sup> de plasma

$$V_{\text{plasma}} = V_{TP} + V_{THe}$$

- Volume total de prótons:

$$V_P = \frac{4}{3} \pi r_p^3 = \frac{4}{3} \times 3,1416 \times [(1,4 \times 10^{-13} \text{ cm}) \times 1^{1/3}]^3 = 1,15 \times 10^{-38} \text{ cm}^3$$

Do item a) são 57 mol de prótons, logo:

$$N_p = (57 \text{ mol}) \times (6,0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}) = 34,2 \times 10^{24} \text{ prótons}$$

$$V_{TP} = N_p V_P = (34,2 \times 10^{24}) \times (1,15 \times 10^{-38} \text{ cm}^3) = 3,93 \times 10^{-13} \text{ cm}^3$$

- Volume total de núcleos de He:

$$V_P = \frac{4}{3} \pi r_p^3 = \frac{4}{3} \times 3,1416 \times [(1,4 \times 10^{-13} \text{ cm}) \times 4^{1/3}]^3 = 4,6 \times 10^{-38} \text{ cm}^3$$

Do item a) são 27 mol de núcleos de He, logo:

$$N_p = (25 \text{ mol}) \times (6,0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}) = 15,0 \times 10^{24} \text{ prótons}$$

$$V_{TP} = N_p V_P = (15,0 \times 10^{24}) \times (4,6 \times 10^{-38} \text{ cm}^3) = 6,9 \times 10^{-13} \text{ cm}^3$$

- Volume do plasma, fica:

$$V_{\text{plasma}} = 3,93 \times 10^{-13} \text{ cm}^3 + 6,90 \times 10^{-13} \text{ cm}^3 = 10,83 \times 10^{-13} \text{ cm}^3$$

Fazendo a razão entre os volumes, tem-se que:

$$\frac{10,83 \times 10^{-13} \text{ cm}^3}{1 \text{ cm}^3} = 1,083 \times 10^{-12} \text{ ou } 1,083 \times 10^{-10} \%$$

- e) Considere que o raio de um núcleo atômico é dado por  $r = (1,4 \times 10^{-13} \text{ cm})A^{1/3}$ , em que  $A$  representa o número de massa do núcleo. Utilizando a Lei dos Gases Ideais,  $PV = nRT$ , estime a temperatura do núcleo do Sol e compare o valor encontrado com a temperatura necessária para que ocorra a fusão nuclear do hidrogênio em hélio,  $1,5 \times 10^7 \text{ K}$ . Comente o resultado obtido.



**Olimpíada Brasileira de Química**  
**Exame Nacional – Fase III - OBQ 2026**

**Modalidade**  
**A**

Resposta:

Temperatura necessária para a fusão núcleo do Sol:  $1,5 \times 10^7 \text{ K}$

Do item a), temos o total de 189 mols de partículas por  $\text{cm}^3$  e da equação dos gases ideais a temperatura, fica:

$$pV = nRT$$
$$T = \frac{pV}{nR} = \frac{(2,5 \times 10^{11} \text{ atm})(1 \times 10^{-3} \text{ L})}{(189 \text{ mol})(0,082 \text{ atm L K}^{-1} \text{ mol}^{-1})} = 1,6 \times 10^7 \text{ K}$$

Temperatura estimada:  $1,6 \times 10^7 \text{ K}$

Os valores são muito próximos, indicando que, mesmo sendo uma aproximação, a Lei dos Gases Ideais fornece uma estimativa coerente para a temperatura no núcleo do Sol. A pequena diferença decorre do fato de que o plasma solar não se comporta exatamente como um gás ideal devido às condições extremas de pressão e densidade.

**Questão 19.** Suponha que uma cidade costeira pretenda investir recursos públicos em apenas um dos seguintes projetos:

**Projeto I:** Instalação de painéis fotovoltaicos.

**Projeto II:** Dessalinização de água do mar por osmose reversa.

**Projeto III:** Planta industrial para produção de biocombustíveis de segunda geração a partir de resíduos lignocelulósicos.

A Tabela 1 apresenta dados de estudos técnicos preliminares, que forneceram os seguintes indicadores médios.

Tabela 1: Indicadores médios obtidos a partir de estudos preliminares

| Indicador                         | Projeto I<br>(Fotovoltaico)           | Projeto II<br>(Dessalinização)                           | Projeto III<br>(Biocombustíveis)                    |
|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Pegada de carbono operacional     | 45 g $\text{CO}_2\text{-eq kWh}^{-1}$ | 1,80 kg $\text{CO}_2\text{-eq m}^{-3}$ de água produzida | 22 g $\text{CO}_2\text{-eq MJ}^{-1}$ de combustível |
| Consumo energético específico     | ---                                   | 4,5 kWh $\text{m}^{-3}$ de água dessalinizada            | 0,35 MJ consumidos por MJ produzido                 |
| Custo operacional unitário        | R\$ 0,18 kWh <sup>-1</sup> gerado     | R\$ 5,40 $\text{m}^{-3}$ de água produzida               | R\$ 3,20 L <sup>-1</sup> de combustível             |
| Vida útil média                   | 25 anos                               | 20 anos                                                  | 18 anos                                             |
| Geração anual de resíduos sólidos | 1,5 kg MWh <sup>-1</sup>              | 12 kg MWh <sup>-1</sup>                                  | 28 kg MWh <sup>-1</sup>                             |

Como consultor(a) científico(a) da prefeitura, responda corretamente às seguintes questões.

a) Identifique os principais benefícios ambientais de cada projeto.

**Respostas esperadas:** Como a questão é discursiva, recomenda-se aceitar respostas equivalentes desde que cientificamente corretas e bem fundamentadas.

**Principais benefícios ambientais de cada tecnologia**

Projeto I – Painéis fotovoltaicos

- Geração de energia renovável sem combustão.
- Baixa emissão operacional de gases de efeito estufa.
- Redução da dependência de combustíveis fósseis.
- Baixa geração de resíduos durante a operação.

Projeto II – Dessalinização por osmose reversa

- Aumento da disponibilidade de água potável em regiões costeiras.
- Redução da pressão sobre mananciais continentais e aquíferos.
- Contribuição para a segurança hídrica da população.



Projeto III – Biocombustíveis de segunda geração

- Aproveitamento de resíduos lignocelulósicos (palha, bagaço, resíduos agrícolas).
- Redução da disposição inadequada de resíduos orgânicos.
- Substituição parcial de combustíveis fósseis por combustível renovável.
- Potencial redução das emissões líquidas de CO<sub>2</sub> no ciclo de vida.

b) Compare, quantitativamente e com contextualização, os três projetos com base nos dados apresentados.

Resposta:

O candidato deve interpretar corretamente os indicadores da tabela e comparar os projetos de forma crítica.

**Análise esperada**

1. Menor pegada de carbono operacional:

Projeto III (22 g CO<sub>2</sub>-eq MJ<sup>-1</sup>) apresenta a menor intensidade de carbono entre os valores fornecidos, seguido do Projeto I (45 g CO<sub>2</sub>-eq kWh<sup>-1</sup>). O Projeto II apresenta a maior emissão operacional por unidade produzida (1,80 kg CO<sub>2</sub>-eq m<sup>-3</sup>).

2. Menor custo operacional unitário:

Projeto I: R\$ 0,18 kWh<sup>-1</sup>, sendo o menor custo operacional entre as alternativas energéticas apresentadas.

3. Maior vida útil média:

Projeto I: 25 anos, superior aos Projetos II (20 anos) e III (18 anos).

4. Menor geração anual de resíduos sólidos:

Projeto I: 1,5 kg MW h<sup>-1</sup>, significativamente inferior aos Projetos II e III.

5. Consumo energético específico:

Projeto II consome 4,5 kWh para produzir 1 m<sup>3</sup> de água dessalinizada, indicando elevado gasto energético.

Projeto III consome 0,35 MJ para cada 1 MJ de combustível produzido, o que indica retorno energético positivo (Retorno Energético do Investimento - EROI > 1).

c) Indique e discuta as limitações químicas, energéticas e econômicas de cada projeto.

Resposta:

Projeto I – Fotovoltaico

- Necessidade de sistemas de armazenamento ou integração à rede elétrica.
- Intermitência da geração solar (dependência da radiação incidente).
- Uso de materiais semicondutores e metais cuja extração pode gerar impactos ambientais.

Projeto II – Dessalinização

- Formação de salmoura concentrada, que exige descarte adequado.
- Elevado consumo de energia elétrica.
- Custos operacionais elevados associados à pressão osmótica e manutenção de membranas.

Projeto III – Biocombustíveis de segunda geração

- Necessidade de pré-tratamentos químicos ou enzimáticos.
- Processamento químico complexo da biomassa lignocelulósica.
- Custos tecnológicos ainda elevados em comparação com combustíveis fósseis em alguns cenários. Logística de coleta e transporte da biomassa pode aumentar custos e emissões indiretas.

d) Analise os possíveis impactos indiretos de cada projeto associados a: 1 - emissões de carbono ou ao uso de recursos naturais; 2 - geração de resíduos; e 3 - efeitos sobre os ecossistemas.

Resposta:

Projeto I – Fotovoltaico

- Impactos indiretos associados à mineração de silício, prata e outros metais.
- Necessidade futura de reciclagem de módulos fotovoltaicos ao final da vida útil.
- Baixo impacto ambiental/operacional contínuo após a instalação.

Projeto II – Dessalinização



- Possível aumento indireto das emissões de CO<sub>2</sub> se a eletricidade utilizada vier de fontes fósseis.
- Descarte de salmoura pode alterar a salinidade e afetar ecossistemas marinhos locais.
- Consumo energético elevado implica maior demanda por infraestrutura elétrica.

**Projeto III – Biocombustíveis**

- Uso intensivo de água em algumas rotas de processamento.
- Geração de resíduos sólidos e efluentes do processamento industrial.
- Possíveis emissões associadas ao transporte da biomassa.

- e) Considerando exclusivamente os dados fornecidos e os princípios da Química Verde, indique qual projeto deveria receber prioridade de investimento e justifique sua decisão de forma quantitativa e qualitativa.

**Resposta:**

Trata-se de uma questão aberta. A banca deve aceitar diferentes conclusões, desde que sustentadas por argumentos quantitativos e qualitativos coerentes.

**Sugestão de resposta mais provável: priorização do Projeto I (Fotovoltaico)**

O candidato pode concluir que o Projeto I deve receber prioridade porque:

- apresenta baixo custo operacional (R\$ 0,18 kW h<sup>-1</sup>); possui longa vida útil (25 anos); gera pouquíssimos resíduos sólidos (1,5 kg MW h<sup>-1</sup>); tem baixa pegada de carbono operacional (45 g CO<sub>2</sub>-eq kW h<sup>-1</sup>); contribui diretamente para a transição energética e redução das emissões de gases de efeito estufa.

Justificativa esperada:

- Embora o Projeto III apresente menor intensidade de carbono por unidade energética produzida, o Projeto I combina menor custo, maior durabilidade e menor geração de resíduos, oferecendo melhor equilíbrio entre desempenho ambiental, econômico e operacional para investimento público de longo prazo.

**Respostas alternativas aceitáveis**

A banca também pode aceitar:

- Projeto II, se o candidato justificar que a prioridade da cidade é a segurança hídrica em cenário de escassez de água, demonstrando compreensão de sustentabilidade social e ambiental integrada.
- Projeto III, se o candidato argumentar com base na valorização de resíduos, economia circular e menor pegada de carbono do combustível produzido.

**Critério essencial:** a conclusão deve ser coerente com os dados da tabela e sustentada por argumentos químicos, energéticos e ambientais consistentes.

Os valores foram escolhidos para evitar uma resposta trivial:

- O projeto fotovoltaico apresenta a menor pegada de carbono e a menor geração de resíduos.
- A dessalinização resolve um problema social importante (escassez hídrica), mas possui elevado consumo energético.
- Os biocombustíveis apresentam pegada de carbono relativamente baixa, porém maior geração de resíduos e menor vida útil da instalação.

Dessa forma, penso que não há uma resposta absolutamente óbvia. Um candidato muito forte poderá defender qualquer um dos três projetos, desde que apresente uma análise quantitativa consistente.

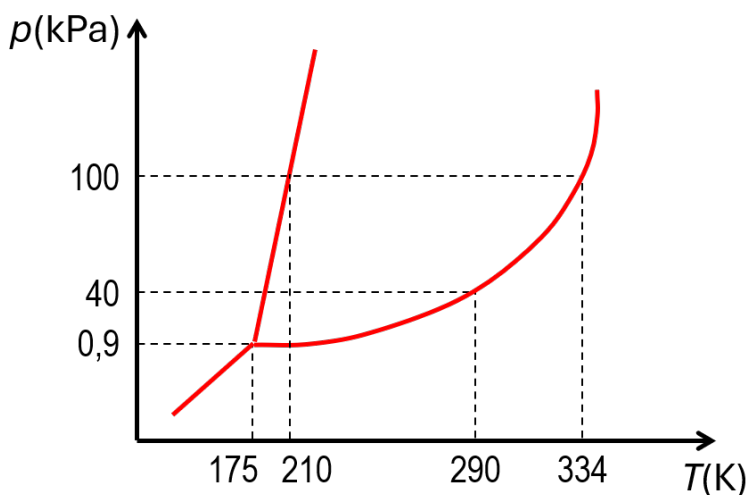
**Questão 20.** O clorofórmio, ou triclorometano, é um solvente organoclorado de fórmula molecular CHCl<sub>3</sub>, amplamente utilizado na indústria. Num passado muito distante foi usado na área médica como anestésico. A primeira utilização como anestésico cirúrgico ocorreu em 1847, pelo obstetra escocês James Young Simpson, e seu uso passou a ser indicado para que as mulheres sentissem menos dor durante o parto. O clorofórmio era recomendável por ser uma substância bastante volátil e menos inflamável do que o éter. O CHCl<sub>3</sub> era capaz de reduzir a temperatura da pele em poucos minutos, tornando temporariamente inativos os nervos sensitivos e, assim, reduzindo a sensação de dor. Esse procedimento representou um importante avanço na medicina, pois permitiu que os procedimentos cirúrgicos durassem mais tempo e que as dores e os traumas dos pacientes fossem reduzidos.



Hoje já se sabe que se trata de uma substância extremamente tóxica, e que a inalação de seus vapores, em doses maiores, pode ser fatal.

Disponível em: <https://www.museudavida.fiocruz.br/index.php/museologico/objeto-em-foco/acervo-museologico-inalador-de-tufier>. Acesso em: 28 jul. 2026 (adaptado).

A seguir, analise o diagrama de fases do clorofórmio. Pode-se observar que, a 100 kPa de pressão, sua temperatura de fusão é de 210 K e sua temperatura de ebulição é de 334 K.



Considerando o diagrama de fases do clorofórmio, responda os itens a seguir.

- a) Qual é o estado de agregação dessa substância quando sua temperatura atinge 170 K à pressão de 80 kPa?

Resposta:

O estado físico do clorofórmio à 170 K e 80 kPa de pressão é SÓLIDO.

- b) Quais são os valores estimados da temperatura e da pressão no ponto crítico?

Resposta:

A temperatura e a pressão no ponto crítico são, respectivamente, maiores que 334 K para  $T_c$  (temperatura crítica) e 100 kPa para  $p_c$  (pressão crítica).

- c) Qual a temperatura de ebulição sob pressão de 40 kPa?

Resposta:

À 40 kPa ocorrerá vaporização na temperatura de 290 K.

- d) Quais são os valores da temperatura e da pressão do ponto triplo?

Resposta:

A temperatura e da pressão do ponto triplo são, respectivamente,  $T_{PT} = 175$  K e  $p_{PT} = 0,9$  kPa.

- e) Qual a geometria molecular do clorofórmio? Indique o tipo de interação intermolecular predominante quando essa substância está no estado líquido.

Resposta:

A molécula de clorofórmio é tetraédrica. A interação intermolecular predominante é do tipo dipolo-dipolo.