

**UNICAMP**  
vestibular  
**2017**

**2ª FASE**

**QUÍMICA**



## 2ª Fase • Química

### Introdução

A prova de Química da segunda fase do Vestibular 2017 abordou assuntos atuais, alguns deles familiares para a maioria dos candidatos. Novamente, a contextualização esteve presente de forma marcante ao longo da prova, e a vivência do candidato pôde ser utilizada em várias questões. Em algumas questões, era necessário que o candidato soubesse relacionar uma informação adquirida em sala de aula com alguma situação real, vivenciada no cotidiano. Em uma das questões, apresentamos alguns símbolos de alerta empregados na embalagem de insumos de uso comum em residências ou laboratórios, para verificar se os candidatos eram capazes de associá-los às espécies indicadas. Em outra questão, que também remetia a um conhecimento do cotidiano, apresentamos uma formulação para que o candidato avaliasse sua possível utilização como fermento químico, um insumo encontrado na maioria dos lares e muito familiar para os candidatos.

O lixo, um problema ambiental cada vez mais sério e enfatizado, também foi explorado, mas sob uma ótica um pouco diferente da habitual; para o candidato era possível emitir uma opinião, concordando ou discordando daquilo que é esperado pela exploração de uma inovação no tratamento do lixo, que já é efetuada na Europa. Os temas obtenção de energia e radioterapia, tão recorrentes em noticiários, e amplamente discutidos pela sociedade, também foram explorados em um formato acessível aos candidatos. Acreditamos que o conjunto de assuntos abordados, bem como o nível em que esses temas foram explorados, tornaram a prova acessível e próxima da vivência dos candidatos.

### Questão 7

Os símbolos abaixo são utilizados como alerta nos rótulos de recipientes de vários produtos de uso cotidiano em laboratórios ou residências, podendo se relacionar às seguintes espécies: etanol, amônia, glúten, alimento modificado e argônio.



- a) Preencha os parêntesis no espaço de resposta com o número correspondente ao símbolo adequado para cada espécie.

etanol ( ); amônia ( ); argônio ( ); alimento modificado ( ); glúten ( )

- b) Um recipiente com ácido sulfúrico apresenta um dos símbolos mostrados no enunciado. Identifique esse símbolo pelo seu respectivo número e justifique a concepção desse símbolo em função da natureza do produto em questão.

### Objetivo da Questão

O objetivo da questão era verificar o conhecimento dos candidatos quanto aos símbolos usados em rótulos de recipientes de produtos familiares a eles. Os itens do programa contemplados nesta questão são: a caracterização e a identificação de substâncias e mudanças de estado. Também foram contempladas as noções gerais sobre a composição, a utilização de recursos naturais e as consequências dessa utilização. O próprio texto da questão e seus itens retratam situações do cotidiano que envolvem esse assunto e sua correlação com a física e a biologia.

### Resposta Esperada

- a) (2 pontos)

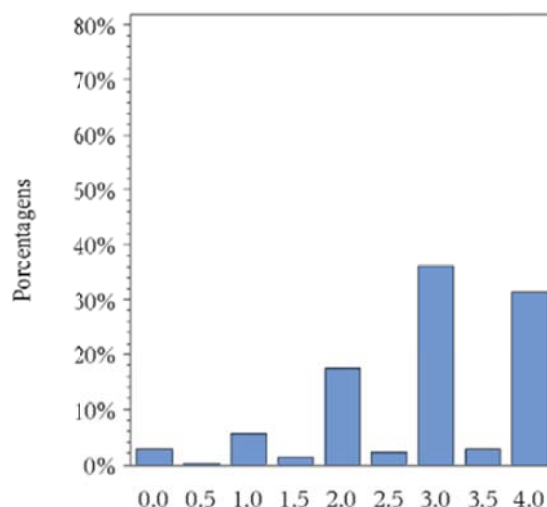
etanol (3); amônia (6); argônio (5); alimento modificado (2); glúten (1)

- b) (2 pontos)

O símbolo para o ácido sulfúrico é o de número 4. A ilustração alerta para duas de suas características: pode causar danos a tecidos vivos (como a pele) e ataca materiais como madeira e alguns metais.

## 2ª Fase • Química

### Desempenho dos candidatos



### Comentários Gerais

A questão 7 é uma questão totalmente contextualizada no sentido amplo do exercício da cidadania. São utilizadas informações que o cidadão necessita conhecer no seu dia a dia. É uma questão bem simples e que não envolve nenhum tipo de raciocínio elaborado. Para responder corretamente é necessário, e suficiente, o conhecimento de alguns símbolos. O item **a** pede que se identifiquem 5 dos símbolos apresentados, sendo que os menos conhecidos são os símbolos 2 (alimento modificado) e 5 (argônio), justamente onde os candidatos tiveram maior índice de erros. O símbolo 5, que identifica o argônio, é o menos conhecido dos estudantes, no entanto ele poderia ser resolvido por exclusão, uma vez que os outros são bem conhecidos. O símbolo de alimento modificado é bem conhecido e também estudado em outras áreas do conhecimento, principalmente devido à técnica da transgênese. Embora não contemple nenhum raciocínio elaborado, a questão em si mostra a aplicação do conhecimento no exercício da cidadania, já que envolve indicações de possíveis problemas para a saúde ou segurança humana. O item **b** é uma extensão do item **a**, mas vai mais adiante quando pede uma interpretação para o uso do símbolo para o ácido sulfúrico, levando em conta algumas das características desse produto: a corrosão de materiais e o ataque a tecidos vivos. O item **b** exige um pouco mais de conhecimento químico e interpretação, quando pede as características do produto. É importante ressaltar que esse tipo de conhecimento utiliza uma linguagem universal, reconhecida dessa forma em qualquer lugar da Terra, o que ajuda no exercício da cidadania em qualquer situação.

De alguma forma, esse tipo de questão sinaliza que o conhecimento não deve se restringir somente a raciocínio, lógicas e formulações; se o cidadão não domina esse tipo de informação, que ele deve aprender na escola, muitas vezes ele pode se expor a situações de risco, sem necessidade, e sem mesmo perceber essa exposição. Imagine uma situação em que ocorre um desastre de trânsito com vazamento de produtos (amônia, ácido sulfúrico, etc); o risco é muito grande se o cidadão se aproxima desse local. Por outro lado, imagine um cidadão em um país cuja língua ele não domina, e que esse cidadão não possa ingerir alimentos com glúten. De que adiantaria a embalagem conter a informação escrita se o cidadão não domina a língua? Esses são aspectos a se considerar quando o cidadão se expõe a um conhecimento desse tipo; são muito comuns argumentos contrários à memorização de conhecimentos, no entanto, esse é um exemplo dessa necessidade.

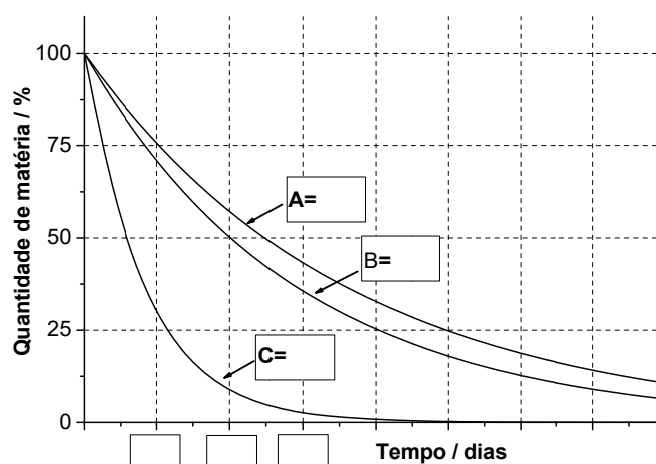
A nota média na questão foi de 2,9 pontos em 4,0 possíveis, uma média bem elevada, o que era esperado pela banca, por se tratar de um conhecimento importante, bem trabalhado em sala de aula e presente na mídia em geral. A questão foi considerada fácil (0,729) e de baixa discriminação (0,267), com um índice muito baixo de zeros (2,8%). Como ressaltamos anteriormente, a maior dificuldade da questão diz respeito à identificação do gás argônio, o que poderia ser resolvido por exclusão a partir de conhecimentos mais largamente apresentados no ensino de Ciências.

## 2ª Fase • Química

### Questão 8

A braquiterapia é uma técnica médica que consiste na introdução de pequenas sementes de material radiativo nas proximidades de um tumor. Essas sementes, mais frequentemente, são de substâncias como  $^{192}\text{Ir}$ ,  $^{103}\text{Pd}$  ou  $^{125}\text{I}$ . Estes três radioisótopos sofrem processos de decaimento através da emissão de partículas  $\beta$ . A equação de decaimento pode ser genericamente representada por  ${}^A_p\text{X} \rightarrow {}^A_{p'}\text{Y} + {}^0_{-1}\beta$ , em que X e Y são os símbolos atômicos, A e A' são os números de massa e p e p' são os números atômicos dos elementos.

- a) Tomando como modelo a equação genérica fornecida, escolha apenas um dos três radioisótopos utilizados na braquiterapia, consulte a tabela periódica e escreva sua equação completa no processo de decaimento.
- b) Os tempos de meia-vida de decaimento (em dias) desses radioisótopos são:  $^{192}\text{Ir}$  (74,2),  $^{103}\text{Pd}$  (17) e  $^{125}\text{I}$  (60,2). Com base nessas informações, complete o gráfico que aparece no espaço de resolução, identificando as curvas A, B e C com os respectivos radioisótopos, e colocando os valores nas caixas que aparecem no eixo que indica o tempo.



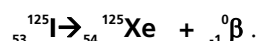
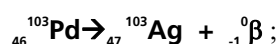
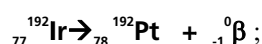
### Objetivo da Questão

Esta questão explora os conhecimentos dos candidatos sobre radioatividade e radioisótopos; equações químicas e cinética de decaimento. Estes conhecimentos são muito importantes e são aplicados no combate ao câncer de próstata e mama, sendo um conteúdo interdisciplinar que envolve Física, Biologia e Matemática.

### Resposta Esperada

a) (2 pontos)

As equações possíveis para os processos de decaimento são:



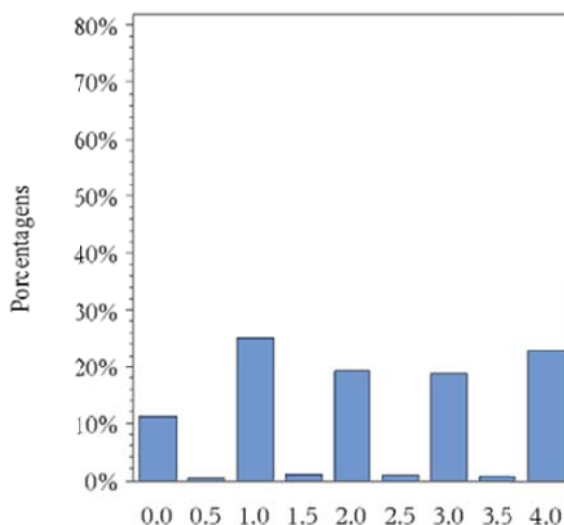
b) (2 pontos)

No decaimento radioativo, o tempo de meia-vida define-se como o tempo necessário para a concentração da espécie cair à metade de seu valor inicial. Assim, a linha que apresenta uma queda mais acentuada corresponde à substância com menor tempo de meia-vida, o Pd (curva C), o I (curva B) e o Ir (curva A).

Aplicando-se o conceito de tempo de meia-vida a cada uma das curvas (substâncias), obtêm-se os seguintes valores aproximados para as caixas que aparecem no eixo do tempo, em ordem crescente: **30, 60 e 90**.

## 2ª Fase • Química

### Desempenho dos candidatos



### Comentários Gerais

A questão 8 se contextualiza num problema muito sério de saúde pública no mundo todo e diz respeito a um tipo de tratamento de câncer por radioterapia. O texto da questão informa brevemente no que consiste esse tipo de terapia e em que princípio físico-químico se baseia. A pergunta aborda aspectos relativos ao decaimento radioativo de espécies químicas. O item **a** envolve aspectos de como equacionar o processo de decaimento. O texto dá informações bem específicas sobre como escrever uma equação de decaimento, com aspectos genéricos, e pede que se consulte a tabela periódica e que se escreva a equação de decaimento radioativo de uma das três espécies químicas citadas: irídio, paládio e iodo. Para quem não domina o assunto, inicialmente é preciso entender a notação científica da partícula  $\beta^-$ , que, conforme o texto, tem massa relativa igual a zero, e uma carga elétrica  $-1$ . Isso significa que o elemento formado (produto) deve ter o mesmo número de massa do radioisótopo de origem e um número atômico uma unidade maior. Assim, após a escolha do radioisótopo é preciso verificar seu número atômico, consultar a tabela e escolher o seu próximo vizinho à direita na tabela. Com essas informações, torna-se possível escrever a respectiva equação de decaimento da espécie escolhida. O item **a** torna-se mais fácil com as informações dadas, não só as que já foram comentadas, mas também pelo fato de que o texto fornece uma leitura de uma equação genérica. Assim, o item **a** transforma-se numa questão de leitura e interpretação. É possível afirmar que, nesse caso, o conhecimento mais exigido é o significado da notação científica da partícula  $\beta^-$ .

A principal dificuldade dos candidatos que dominavam o assunto se traduziu na interpretação do que se indaga no item. Os erros mais comuns foram a não colocação do símbolo correto do produto formado (símbolo do elemento químico); muitos candidatos usaram a notação genérica, como aparece no texto, e muitos erraram na atribuição correta do número de massa ou do número atômico.

O item **b** exige conhecimento de cinética de decaimento radioativo, evento de primeira ordem, mas vem numa roupagem diferente. Apresenta-se em forma de gráfico e exige conhecimento de tempo de meia-vida. O item vai além do simples conhecimento desse assunto, quando pede que se preencha o referido gráfico, naquilo em que está incompleto. Para escolher corretamente as espécies radioativas A, B e C, não é preciso fazer cálculos, basta verificar a sequência de tempos de meia-vida, atribuindo à curva A (mais lenta) o maior tempo de meia-vida, e assim por diante. Para o correto preenchimento dos valores de tempo, é preciso escolher uma das curvas e aplicar o conceito de meia-vida. A curva em que aparecem mais bem definidos o tempo de meia-vida e a respectiva concentração atingindo a metade do valor é a curva do elemento B, e o par  $(x, y)$  é  $(60, 50\%)$ . Como as escalas são lineares, os outros valores de  $x$  passam a ser 30 e 90. Trata-se de um item que exige um bom domínio de leitura e elaboração de gráficos e uma aplicação bem elementar de cinética de decaimento radioativo.

Os erros mais comuns se deveram à aplicação errada do conceito de tempo de meia-vida. Assim, muitos candidatos simplesmente aplicaram os valores de tempo de meia-vida fornecidos diretamente ao gráfico, atribuindo os valores 17, 60 e 75, por aproximação, às caixas no eixo  $x$  da figura.

A nota média na questão foi de 2,2 pontos em 4,0 possíveis. Foi uma questão considerada de fácil a média, mais para média, e com um bom índice de discriminação, levando em consideração todo o universo de candidatos. O desempenho dos candidatos ficou dentro do esperado pela banca elaboradora, uma vez que o assunto de

## 2ª Fase • Química

decaimento é bem estudado nos aspectos que foram explorados na questão. Se por um lado o texto dado trouxe informações bem detalhadas sobre aspectos conceituais, facilitando a resolução dos itens, por outro lado trouxe a novidade no item **b** em relação à interpretação de gráfico de uma forma menos convencional. Porém, de acordo com as previsões e com os resultados de desempenho observados, conclui-se que ambos os aspectos contrabalançaram a questão. Por último, vale ressaltar a excelente contextualização do assunto, decaimento radioativo, que, de outra forma, poderia ser bem árido para os candidatos. Ao tratar do assunto decaimento no contexto em que se insere a questão, recomenda-se que o professor de Química busque aspectos técnicos da braquiterapia em si, como os benefícios e malefícios que possam advir desse tipo de tratamento, em que casos de câncer são aplicados, etc., interdisciplinarmente, com professores de Física, Matemática e Biologia.

### Questão 9

Um teste caseiro para saber se um fermento químico ainda se apresenta em condições de bom uso consiste em introduzir uma amostra sólida desse fermento em um pouco de água e observar o que acontece. Se o fermento estiver bom, ocorre uma boa efervescência; caso contrário, ele está ruim. Considere uma mistura sólida que contém os íons dihidrogenofosfato,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , e hidrogenocarbonato,  $\text{HCO}_3^-$ .

- Considerando que o teste descrito anteriormente indica que a mistura sólida pode ser de um fermento que está bom, escreva a equação química que justifica esse resultado.
- Tendo em vista que a embalagem do produto informa que 18 g desse fermento químico devem liberar, no mínimo,  $1,45 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  de gases a 298 K e 93.000 Pa, determine a mínima massa de hidrogenocarbonato de sódio que o fabricante deve colocar em 18 gramas do produto.

Dado:  $R = 8,3 \text{ Pa m}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

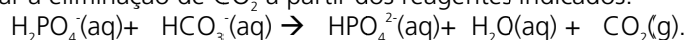
### Objetivo da Questão

A questão abordou a equação geral dos gases ideais, leis de Boyle e de Gay-Lussac, símbolos e fórmulas na representação de átomos, moléculas e íons. Indiretamente, estavam envolvidas também as massas atômicas, massas molares e quantidade de substância. Além disso, também tratou de cálculos estequiométricos e relações ponderais e volumétricas nas reações químicas. O próprio texto da questão demonstra uma aplicação corriqueira do conteúdo abordado.

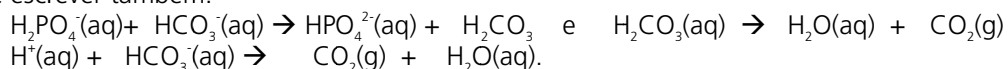
### Resposta Esperada

a) (2 pontos)

A equação química deve ilustrar a eliminação de  $\text{CO}_2$  a partir dos reagentes indicados:



Pode-se escrever também:



b) (2 pontos)

$$P = 93000 \text{ Pa} \quad T = 298 \text{ K} \quad V = 1,45 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \quad R = 8,3 \text{ Pa m}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$P V = n R T \quad n = P V / R T = 93000 \times 1,45 \times 10^{-3} / 8,3 \times 298 = 134,85 / 2473,4$$

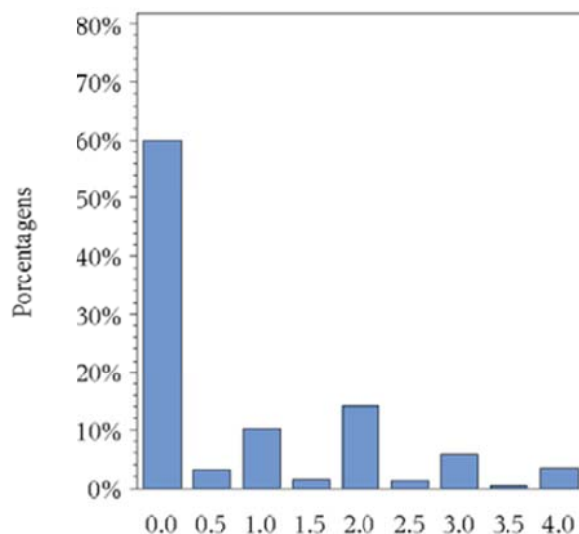
**$n = 0,055$  moles de  $\text{CO}_2$**

A massa molar do  $\text{NaHCO}_3$  é:  $23 + 1 + 12 + 48$ , ou seja, 84 g.

Assim, a quantidade (em massa) de  $\text{CO}_2 = 0,055 \times 84$ , que corresponde a **4,62 g**.

## 2ª Fase • Química

### Desempenho dos candidatos



### Comentários Gerais

Essa questão exige conhecimento da linguagem química e de estequiometria. Contextualizada no uso cotidiano do fermento químico, no item **a**, a questão explora a linguagem de equações químicas ao solicitar que se escreva a equação de formação do gás carbônico, cujo aparecimento provoca o crescimento da massa do alimento. É importante notar que o texto da questão informa que há fermentos químicos de diferentes composições, mas que nesse caso específico se considera um fermento formado por duas entidades:  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ . Nesse sentido, o próprio texto sinaliza que somente essas duas entidades são responsáveis pela formação do gás e isso é uma informação relevante para responder ao item. Outro aspecto importante na resolução do item **a** é a necessidade de se reconhecer que o gás a ser liberado é o  $\text{CO}_2$ , um conhecimento já apresentado ao estudante na 9ª série do ensino fundamental, pelo menos do ponto de vista prático. É bastante comum, já no ensino fundamental, o professor mostrar a efervescência de antiácidos estomacais, ações de vinagre em conchas ou casca de ovo, etc., evidenciando a formação de  $\text{CO}_2$  em reações semelhantes envolvendo carbonatos.

Por tudo isso, esse deveria ser um item de fácil resolução, mas não foi. Apesar de ser tema recorrente no ensino, os candidatos frequentemente apresentam muitas dificuldades no equacionamento do fenômeno. Não se trata apenas de levar em conta uma possível dificuldade com equações iônicas, já que as espécies envolvidas são íons ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ ), trata-se da dificuldade em atribuir ao  $\text{CO}_2$  a identidade do gás formado. Os livros textos do Ensino Médio ainda hoje postulam a formação do  $\text{H}_2\text{CO}_3$  nesses casos, para, em seguida, determinar sua instabilidade térmica e decomposição em  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$ . Para a resolução do item, não há problemas nessa suposição, desde que, ao final, fique evidente a formação do  $\text{CO}_2$ , o que não ocorreu na resposta de muitos candidatos. Ao postular a formação de  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , e não a de  $\text{CO}_2$ , a resposta não contempla o aspecto fundamental, que é a formação do gás, no caso o  $\text{CO}_2$ . É bastante comum no Ensino Médio apresentar-se a reação entre carbonato  $\text{CO}_3^{2-}$  e um ácido  $\text{H}^+$  e também é comum atribuir-se ao ácido fosfórico e aos seus íons contendo  $\text{H}^+$  ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) o caráter ácido. No entanto, pelo que se percebeu na correção da prova, os candidatos tiveram muita dificuldade em observar no sistema  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HCO}_3^-$  os potenciais reagentes a que estão acostumados ( $\text{H}^+$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ ), muito embora o texto enfatize as espécies envolvidas na reação. O erro mais comum dos candidatos que sabiam responder ao item foi não promover a decomposição do  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , uma espécie química só detectada em baixíssimas temperaturas e não observada em condições ambiente. Além disso, também já é bem conhecida a dificuldade dos estudantes em escrever equações químicas envolvendo carbonato e gás carbônico.

O item **b** da questão trata do assunto estequiometria. O item contempla o uso quantitativo da equação dos gases ideais, associado à transformação estequiométrica de  $\text{NaHCO}_3$  em  $\text{CO}_2$ . Trata-se de um caso bem exemplar e simples de cálculo estequiométrico, já que a relação que se estabelece entre essas duas espécies é de 1:1. O item é bem contextualizado ao dar a informação a partir da legislação vigente (norma da ANVISA), e, mais, pode-se perceber a vinculação desse item ao item **a**, embora eles sejam independentes. A informação para considerar o  $\text{NaHCO}_3$  como um reagente também sinaliza uma possível substância como responsável pelo  $\text{HCO}_3^-$ , aludido no item **a**. Os erros mais comuns dos candidatos se restringiram ao uso de potências nos cálculos, uma vez que todas as unidades foram informadas no SI, bastando apenas substituí-las na equação dos gases e



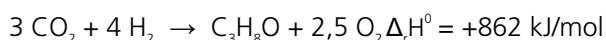
## 2ª Fase • Química

efetuar os correspondentes cálculos. Muitos candidatos até conseguiram realizar a primeira parte do cálculo simples, mas não conseguiram estabelecer a estequiometria entre  $\text{NaHCO}_3$  e  $\text{CO}_2$ .

Essa questão teve um índice de facilidade muito baixo: 0,197, o que não era esperado pela banca, embora se soubesse da dificuldade dos estudantes com o sistema carbonato/gás carbônico. Embora o exercício forneça as grandezas para o cálculo, todas já em unidades compatíveis, bastando usá-las “tal e qual”, observou-se grande dificuldade dos candidatos com potências de  $10^{-3}$ . Com muita frequência, no Ensino Médio, os cálculos envolvendo gases são, ainda, realizados fora do SI. São comuns unidades como litros, mmHg e o valor da constante R compatível com essas unidades, o que complica o uso do SI. Vale lembrar que a grande maioria das Sociedades Científicas e a IUPAC recomendam fortemente o uso do SI. Cerca de 60% de zeros se relacionam com a frequência observada nessa questão, um valor muito elevado e impensável, *à priori*, pela banca. As notas médias nos itens foram bem parecidas entre si, embora o item **a** tenha mostrado um menor valor. Comenta-se que a contextualização facilita o aprendizado; há muita informação na literatura afirmando esse ponto, no entanto, observa-se com muita frequência um mau desempenho dos candidatos quando isso é aplicado nas provas, o que sugere que essa metodologia pode não estar sendo utilizada em sala de aula. A nota média na questão foi de 0,8 em 4,0 pontos possíveis, uma média muito baixa, diferente do que a banca esperava, já que considerava essa questão de nível médio. Vale lembrar que não se trata de uma questão dissertativa e sim numérica, o que costuma levar a uma melhor pontuação.

### Questão 10

Uma reportagem em revista de divulgação científica apresenta o seguinte título: *Pesquisadores estão investigando a possibilidade de combinar hidrogênio com dióxido de carbono para produzir hidrocarbonetos, com alto poder energético, “ricos em energia”*. O texto da reportagem explicita melhor o que está no título, ao informar que “em 2014 um grupo de pesquisadores desenvolveu um sistema híbrido que usa bactérias e eletricidade, conjuntamente, em um coletor solar, para gerar hidrogênio a partir da água, e fazer sua reação com dióxido de carbono, para produzir isopropanol”, como representa a equação a seguir.



- Considerando que a entalpia padrão de formação da água é  $-286 \text{ kJ/mol}$ , qual é a quantidade de energia que seria utilizada na produção de 1 mol de isopropanol, a partir de água e  $\text{CO}_2$ , da maneira como explica o enunciado acima?
- Qual seria a energia liberada pela queima de 90 gramas de isopropanol obtido dessa maneira? Considere uma combustão completa e condição padrão.

### Objetivo da Questão

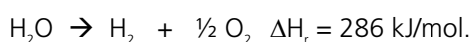
Esperava-se que os candidatos fossem capazes de relacionar equações químicas e as energias nelas envolvidas. A questão abordou reações exotérmicas e endotérmicas e cálculos de variação de entalpia, além do princípio da conservação da energia e lei de Hess.

O assunto abordado nessa questão está bem presente em nosso cotidiano – permite calcular grandezas associadas como, por exemplo, no rendimento de aquecedores a gás ou a líquido; e se insere na questão ambiental de diminuição da emissão de  $\text{CO}_2$ .

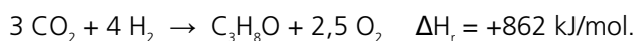
### Resposta Esperada

a) (2 pontos)

O enunciado indica que o hidrogênio deve ser produzido a partir da água. Assim:

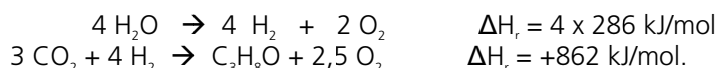


O hidrogênio assim produzido será utilizado para produzir o álcool, de acordo com a equação:



Multiplicando-se a primeira equação por 4 e combinando-se as duas equações (Lei de Hess), obtém-se:

## 2ª Fase • Química



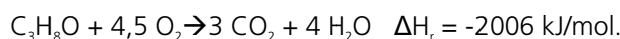
Somando-se essas duas equações, obtém-se a equação de formação de isopropanol a partir de  $\text{CO}_2$  e água, com a liberação de  $(1144 + 862)$ , ou seja, 2006 kJ de energia por mol de isopropanol formado.

### b) (2 pontos)

A massa molar do isopropanol é de  $(36 + 8 + 16)$ , ou seja,  $60 \text{ g mol}^{-1}$ .

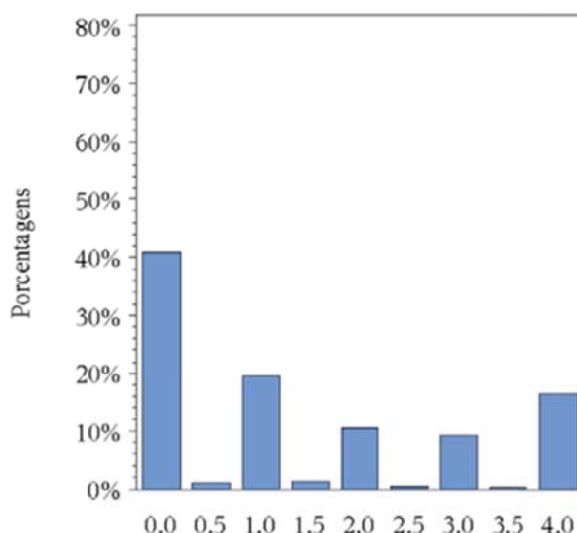
90 g de isopropanol correspondem a 1,5 mol.

A equação de combustão do isopropanol é o inverso da equação de sua formação, como se obteve no item a:



Assim, a queima de um mol de isopropanol liberará 2006 kJ de energia. Se for queimado 1,5 mol de isopropanol, a energia liberada será de  $(2006 \times 1,5)$  kJ, ou seja, 3009 kJ.

## Desempenho dos candidatos



## Comentários Gerais

A questão se contextualiza num problema complexo de poluição atmosférica, associado à tecnologia de combate ou minimização desse problema. A questão trata da diminuição da alta quantidade de  $\text{CO}_2$  existente na atmosfera. O texto informa brevemente no que consiste a tecnologia sugerida nesse tipo de remediação de poluição, mas questiona aspectos relativos à possível energia envolvida no processo físico-químico que ocorre. A pergunta, como um todo, baseia-se no conhecimento de aspectos relativos à energética de reações químicas, lei de Hess e estequiometria. O item a solicita o valor da energia envolvida na formação de 1 mol de isopropanol, a partir de água e dióxido de carbono. O texto dá informações bem específicas para o cálculo dessa energia, ao mesmo tempo em que informa que se espera que se trate de um processo endergônico (endotérmico), já que se espera produzir hidrocarbonetos “ricos em energia”.

O texto dá uma equação de formação do isopropanol a partir de gás carbônico e hidrogênio, já que no processo um desses reagentes está na natureza e o outro,  $\text{H}_2$ , será gerado por bactérias, a partir da água. O item pede a energia envolvida na formação de 1 mol de isopropanol, a partir de gás carbônico e água, mas a equação dada é a partir de hidrogênio. Assim, para chegar à resposta, é preciso acrescentar a equação de formação de hidrogênio a partir da decomposição da água, algo realizado pelas bactérias, à equação fornecida. Isso se faz por aplicação da lei de Hess, considerando os aspectos estequiométricos. O próprio texto do item a informa a energia de formação da água, o que já é uma dica do caminho para a resolução. Nesse sentido, o que se exige é que se saiba ler corretamente as informações contidas na frase “a entalpia padrão de formação da água”. Nesse caso, é preciso saber que o termo entalpia padrão de formação diz respeito à energia para a formação da água a

## 2ª Fase • Química

partir de seus elementos no estado fundamental. Outro aspecto relevante é observar que na equação química fornecida aparecem 4 mols de  $H_2$ , na formação de 1 mol de isopropanol, o que significa que é necessário decompor 4 mols de água.

No geral, as questões que envolvem a lei de Hess envolvem todos os aspectos citados anteriormente, mas aqui não se fornece a equação química de formação da água, ela é apenas citada, exigindo-se que esse conhecimento seja levado em conta. Essa é a principal característica que diferencia esse item do que normalmente é trabalhado no assunto. De modo geral, os candidatos que mostraram algum conhecimento no assunto, considerando aqui aqueles que esboçaram algum tipo de resposta, tiveram mais dificuldade com o uso correto da definição de entalpia padrão de formação da água e em segundo lugar com a estequiometria das equações químicas. Um erro muito comum foi a soma simples das duas equações químicas, a equação fornecida e a formação de água, sem levar em conta a estequiometria correta.

O item **b** pede o valor da energia obtida na queima do isopropanol obtido na síntese. Ora, o processo de combustão completa sempre leva à formação de  $CO_2$  e água, no caso de hidrocarbonetos; dessa forma, bastava inverter a equação química obtida no item **a** e levar em conta a quantidade de isopropanol a ser queimado para se chegar à resposta. O item **b** é mais simples de resolver que o item **a**, no entanto sua resolução depende da resolução do item **a**. Em geral, essa interdependência não é recomendável, já que um erro em um item leva necessariamente a um erro no outro item. No entanto, os detalhes estatísticos de desempenho na questão mostraram-se muito bons; foi considerada uma questão difícil (índice de facilidade 0,348), mas com o índice de discriminação mais elevado na prova de química (0,734). O índice de zeros foi de 41%, um valor muito alto, mas há que se considerar que esse resultado é bastante comum quando o assunto é termoquímica. Soma-se a essa constatação o fato de que a questão envolvia uma leitura cuidadosa de informações, já que elas não foram fornecidas na forma convencional. O convencional é fornecê-las sempre na forma de equações químicas acompanhadas de valores numéricos, o que ocorreu parcialmente nessa questão.

Já há muito tempo, o prof. Aécio Pereira Chagas comentava que as questões envolvendo termoquímica eram as mais discriminativas no vestibular e isso se confirmou nesta prova; mesmo sendo difícil, a questão discriminou muito bem. A média de 1,4 em 4 pontos possíveis indica uma questão de média a difícil, sendo que ambos os itens tiveram média 0,7 em 2 pontos possíveis.

### Questão 11

Uma das alternativas para o tratamento de lixo sólido consiste na tecnologia de reciclagem quaternária, em que o lixo sólido não perecível é queimado em usinas específicas. Nessas usinas, os resíduos oriundos da queima são retidos e não são emitidos diretamente para o meio ambiente. Um dos sistemas para retenção da parte gasosa dos resíduos apresenta um filtro que contém uma das seguintes substâncias:  $Na_2CO_3$ ,  $NaOH$ ,  $CaO$  ou  $CaCO_3$ .

- Considere a seguinte afirmação: essa tecnologia apresenta dupla vantagem porque, além de resolver o problema de ocupação do espaço, também gera energia. Responda, inicialmente, se concorda totalmente, concorda parcialmente ou se discorda totalmente dessa afirmação e, em seguida, justifique sua escolha.
- Durante a queima que ocorre no tratamento do lixo, os seguintes gases podem ser liberados:  $NO_2$ ,  $SO_2$  e  $CO_2$ . Escolha um desses gases e indique um filtro adequado para absorvê-lo, dentre as quatro possibilidades apresentadas no enunciado. Justifique sua escolha utilizando uma equação química.

### Objetivo da Questão

Essa questão buscou avaliar se os candidatos tinham noções gerais sobre a composição, a utilização de recursos naturais da crosta terrestre, da atmosfera, da biosfera e da hidrosfera e as consequências dessa utilização. O próprio texto da questão se baseia no funcionamento de usinas térmicas à base de lixo não perecível. A questão também requeria a aplicação de conceitos ácido-base de Arrhenius, Bronsted e Lewis.

### Resposta Esperada

#### a) (2 pontos)

Deve-se **concordar parcialmente** com a afirmação, porque a tecnologia realmente gera energia, que pode ser aproveitada de diversas formas, mas não resolve completamente a questão da ocupação do espaço, já que pode gerar resíduos sólidos que ocupam espaço e além disso os gases emitidos que são filtrados se transformarão em resíduos, que, de alguma forma, têm que ser estocados.

## 2ª Fase • Química

### b) (2 pontos)

Como se pode escolher qualquer um dos três gases, exemplos de sua retenção podem ser:

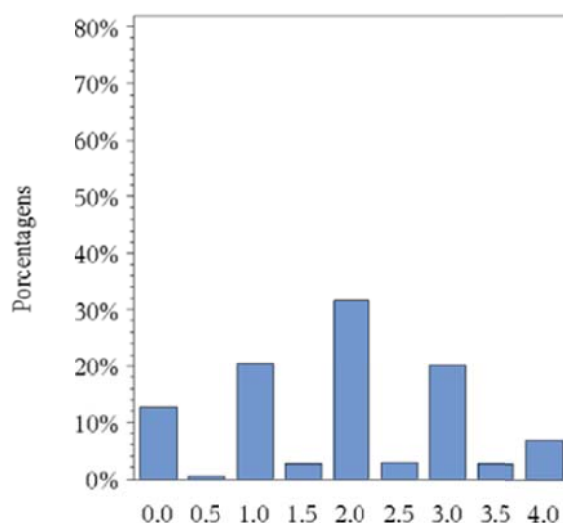
**CO<sub>2</sub>**, retido por:  $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$  ou  $\text{NaOH} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{NaHCO}_3$ ;

**SO<sub>2</sub>**, retido por:  $\text{CaO} + \text{SO}_2 \rightarrow \text{CaSO}_3$  ou  $\text{NaOH} + \text{SO}_2 \rightarrow \text{NaHSO}_3$ ;

**NO<sub>2</sub>**, retido por:  $2 \text{CaO} + 4 \text{NO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_2)_2$ .

Observações: SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>, quando adsorvidos em óxidos ou hidróxidos, de modo geral podem originar sulfito, sulfato, nitrito e nitrato. A escolha de adsorventes na forma de carbonato não é uma boa opção, pois seu uso pode levar à formação de CO<sub>2</sub>.

## Desempenho dos candidatos



## Comentários Gerais

A questão se contextualiza em outro problema complexo de poluição, agora associado à tecnologia de minimização do problema do lixo sólido não perecível. A questão aborda a redução da quantidade desse tipo de lixo, usando uma reciclagem definida como quaternária, na qual o resíduo é queimado para gerar energia e diminuir o volume ocupado. Entretanto, a queima, embora recupere uma parte de energia que seria desperdiçada numa deposição direta do lixo na natureza, sempre vai gerar muitos gases e resíduos sólidos. Afinal, a queima sempre levará à formação de produtos, independentemente de seu estado, sólido, líquido ou gasoso. E independentemente de seu estado físico, esses produtos sempre ocuparão espaço. O item **a** dessa questão explora exatamente esse equívoco em se pensar que a queima resolve o problema do espaço, já que, sem a tecnologia, a maior parte dos resíduos, que se encontra no estado gasoso, vai para a atmosfera. Como esse resíduo não é observado diretamente pelos olhos, o cidadão mal informado acredita que o lixo “sumiu”. O texto da questão é feliz ao informar que se trata de uma nova tecnologia, embora não informe diretamente em que países ela é adotada. A inspiração para a questão vem de uma usina instalada dentro da grande Paris, sendo, inclusive, um ponto turístico da cidade. Quem passa ao lado da usina nem percebe o que acontece ali, mas Paris não é o único exemplo.

O item **a** questiona se se deve concordar, ou não, que uma tecnologia desse tipo apresenta a dupla vantagem de produzir energia e resolver o problema do espaço ocupado pelo lixo sólido. Em relação à energia, a resposta é simples, já que o texto da questão informa que o lixo é queimado, o que leva a crer que se “gera” energia. Por outro lado, a questão da ocupação do espaço, como já foi comentado, não é bem explorada em livros textos e na escola, mas é um aspecto muito importante. Na verdade, a questão do espaço ocupado pelo lixo é muito bem estudada, mas a sua remediação a partir da tecnologia só é estudada parcialmente, no que se refere aos materiais, geralmente lixo reciclado, que são reaproveitados a partir da coleta seletiva em cooperativas.

No passado, já tivemos no Brasil algumas propostas de usinas termoeletricas para queima do lixo e o assunto gerou muita polêmica, geralmente por se tratar apenas da queima e obtenção de energia, sem recolhimento dos gases emanados. Em relação ao item **a**, muitos candidatos erraram pois levaram o questionamento para uma semântica equivocada. Muitos candidatos concordaram parcialmente, mas discordaram da dupla vantagem, não quanto ao aspecto do espaço, mas quanto ao aspecto da energia. Muitos argumentaram “que a energia não era

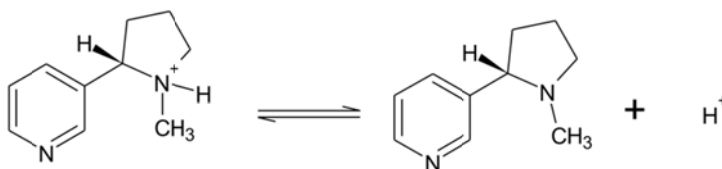
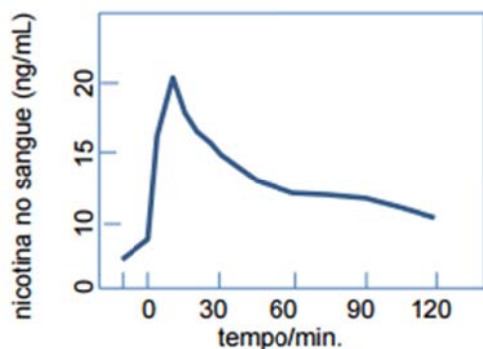
## 2ª Fase • Química

gerada e sim transformada”, e outros, “que a energia era gerada mas não aproveitada” ou então “que ela era gerada, mas gasta em outras operações na usina”. É importante notar que esse tipo de resposta surge pelo fato de que há algum “preciosismo” ao se ensinar Ciência em alguns momentos. O livro texto ou o professor insistem em apresentar essas semânticas como se elas fossem o aspecto mais importante do assunto. Não vai aqui nenhuma crítica, já que autores e professores professam os conhecimentos adquiridos ao longo de suas vidas, mas cabe um alerta para que não se estressem esses pontos ditos “mais polêmicos” e que não agregam muito ao estudante. Eles podem ser apresentados, mas dentro de sua devida importância no contexto.

O item **b** foca as características ácido-base dos gases emitidos e os possíveis filtros a serem usados na usina. Na realidade, a usina possui vários sistemas de filtragem, tanto para sólidos, como para gases, e para energia (calor). O item **b** explora somente alguns gases, todos de caráter ácido. Dessa forma, o item espera que se correlacionem essa duas características, de modo a “neutralizar” o gás emitido. Em princípio, todos os filtros podem ser usados, dependendo do gás que se quer absorver. No entanto, os filtros de carbonato, sempre que for possível usá-los, levarão à emissão de  $\text{CO}_2$ , o que não seria indicado. Portanto, as melhores escolhas seriam o  $\text{NaOH}$  e a  $\text{CaO}$ . O item também pede uma equação química que descreva o processo de absorção. Como o item se baseia no conceito ácido-base, o desejável é apresentar uma equação química que contemple uma reação de neutralização. O erro mais frequente foi escolher os filtros de carbonato e nesse caso muitos candidatos fizeram a decomposição do carbonato e formação de  $\text{CO}_2$ , mas nem se deram conta da formação desse gás como um agente poluidor. Não houve muita dificuldade nesse item. A questão como um todo foi de facilidade média (índice de facilidade 0,49) e índice de discriminação também médio (0,42). Esse resultado era esperado pela banca. Na realidade, a banca antevia um desempenho melhor, já que pelo menos o item **b** era considerado fácil, pois permitia muitas escolhas, entre elas o gás  $\text{CO}_2$  e o filtro de  $\text{NaOH}$ , dois velhos conhecidos dos candidatos. O índice de zeros foi muito baixo, ficando ao redor de 13 %.

### Questão 12

O sangue que circula por todo o nosso corpo é muito resistente a alterações, mas acaba sendo o depósito de muitos resíduos provenientes da ingestão de alguma substância. No caso dos fumantes, o contato com a nicotina após o consumo de um cigarro leva à variação de concentração de nicotina no sangue ao longo do tempo, como mostra o gráfico abaixo.



- Considere o momento em que a quantidade de nicotina no sangue de um fumante atinge seu valor máximo. Se nesse momento o pH do sangue for de 7,4, qual espécie estará em maior concentração (mol/L): o  $\text{H}^+$  ou a nicotina total? Justifique sua resposta.
- A constante de equilíbrio da equação acima é  $1,0 \times 10^{-8}$ . Qual das formas da nicotina estará em maior concentração no sangue: a forma protonada ou a desprotonada? Justifique sua resposta.

Dados: massa molar da nicotina =  $162,2 \text{ g mol}^{-1}$ ,  $\log_{10} 4 = 0,6$ .

### Objetivo da Questão

Esperava-se que os candidatos dominassem as várias expressões de concentração: porcentagem, fração em massa, fração em mol, massa/volume, mol/volume, mol/quilograma, além de saber trabalhar com sistemas em equilíbrio, constante de equilíbrio e pH de soluções.

## 2ª Fase • Química

A questão se contextualiza em um exemplo prático do que ocorre no sangue de um fumante, em relação à nicotina presente. O tema pode ser associado à adição de substâncias básicas ao tabaco e à questão da cinética de degradação da nicotina e sua associação com a adoção do vício de fumar. Esse assunto está correlacionado às áreas de Biologia, Medicina e Sociologia.

### Resposta Esperada

#### a) (2 pontos)

A concentração máxima de nicotina no sangue, de acordo com a figura apresentada, ocorre por volta de 10 minutos, e é de 20 ng/mL. Isso corresponde a  $20 \times 10^{-9}/162 \text{ mol/mL}$ , ou  $1,23 \times 10^{-10} \text{ mol/mL}$  ou  $1,23 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ .

A concentração de  $\text{H}^+$  no sangue quando o pH é 7,4 é de, aproximadamente,  $10^{-7,4} \text{ mol/L}$ , ou seja,  $4 \times 10^{-8} \text{ mol/L}$ , um valor menor que  $1,23 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ , que é a concentração total de nicotina no sangue.

#### b) (2 pontos)

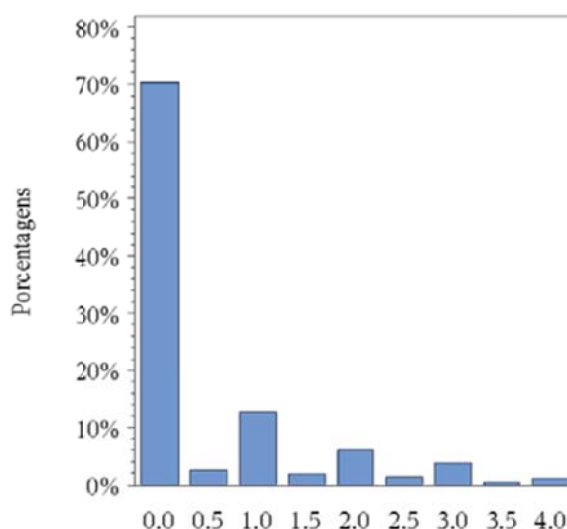
A constante de equilíbrio da reação é dada por  $K = [\text{nicotina}][\text{H}^+]/[\text{nicotina-H}^+]$ , ou seja,

$$1,0 \times 10^{-8}/4 \times 10^{-8} = [\text{nicotina}]/[\text{nicotina-H}^+] \quad 0,25 = [\text{nicotina}]/[\text{nicotina-H}^+]$$

**$0,25 \times [\text{nicotina-H}^+] = [\text{nicotina}]$ .** Isso significa que a concentração da forma protonada da nicotina é 4 vezes maior que aquela da forma desprotonada.

Outra forma de resolver a questão é observar que o sistema apresenta um valor de pH menor que o pKa da nicotina, o que leva a concluir que a espécie nicotina protonada está em maior concentração que a espécie desprotonada.

### Desempenho dos candidatos



### Comentários Gerais

Do ponto de vista do conhecimento químico, a questão trata de dois assuntos distintos, mas interligados. O item **a** diz respeito à questão de cálculo com concentrações, expressas de duas formas diferentes. Ao pedir uma comparação quantitativa entre as concentrações de nicotina e  $\text{H}^+$  no sangue, o item cobra o conceito de pH e sua relação com concentração, ao mesmo tempo em que exige que se obtenha uma informação quantitativa a partir de um gráfico e que se faça a conversão de unidades na comparação. Na resolução desse item é necessário que se conheça, então, a definição de pH como  $-\log [\text{H}^+]$ , e com o valor dado de  $\text{pH}=7,4$  se obtenha a concentração de  $\text{H}^+$  no sangue. A questão também exige que se obtenha o valor da concentração de nicotina no sangue, a partir da leitura do gráfico, além de exigir a conversão desse valor para outra unidade, de modo a compará-lo à concentração de  $\text{H}^+$ .



## 2ª Fase • Química

A grande maioria dos candidatos fez a comparação sem nem mesmo obter esses valores, o que é impossível no caso. Esses candidatos, simplesmente observaram que a concentração de  $H^+$  era muito pequena e então concluíram que a de nicotina era maior; um simples “exercício de lógica”. Também se percebeu que grande parcela dos candidatos nem sequer percebeu que se tratava da nicotina total, o que era possível saber a partir da leitura da equação química fornecida no texto da questão. Boa parte dos candidatos que perceberam como resolver o item **a** tiveram muita dificuldade com transformações numéricas e comparações entre grandezas com potências como  $10^{-7}$  e  $10^{-8}$ . Muitos candidatos interpretaram o item **a** como uma questão de equilíbrio. Nesse sentido, tentaram comparar grandezas sem utilizar o gráfico fornecido, considerando que o  $H^+$  do sangue viria exclusivamente da nicotina presente no sangue.

Há um jargão quando se começa a estudar equilíbrio químico – definir a constante de equilíbrio como uma relação P/R (Produtos/Regentes) – que leva os alunos a esquecerem que P e R são produtos de concentrações e não apenas valores individuais de concentrações daquilo que “interessa”. Assim, no caso específico da nicotina, muitos candidatos simplesmente desprezaram a concentração de  $H^+$  da constante e tentaram responder ao item **a** e também ao item **b**, utilizando a estratégia de que: se a constante é muito pequena, por exemplo  $1 \times 10^{-8}$ , que é muito menor que 1, então prevalece a concentração dos reagentes. Embora isso seja verdade quando se tem apenas um reagente e um produto, como é o caso de um sistema genérico  $P \rightleftharpoons R$ , a análise correta deve levar em conta todas as espécies presentes na equação de equilíbrio. Essa dificuldade, como já foi dito também foi levada para a resolução do item **b**. Boa parte dos candidatos conseguiu escrever uma expressão para a constante de equilíbrio da equação da nicotina,  $K=P/R$ , que é uma simplificação, mas não foi capaz de ir além e colocar todas as espécies presentes no equilíbrio. Muitos candidatos que conseguiram ir além disso, e conseguiram escrever expressão da constante de equilíbrio, também erraram ao considerar qual era a espécie de nicotina protonada e qual era a desprotonada.

É importante notar que, no caso do item **b**, nem é obrigatório efetuar qualquer cálculo. Na expressão da constante de equilíbrio, basta colocar os valores numéricos de  $K_a$  e  $H^+$ , para observar quanto vale a relação entre as concentrações de nicotina nas duas formas. A maioria dos candidatos que acertou o item **b** por completo utilizou essa estratégia e simplesmente mostrou a relação entre as grandezas, o que evidencia uma boa maturidade científica. Os índices de acertos nos dois itens da questão foram muito baixos. Cerca de 70% dos candidatos obtiveram nota zero, o que evidencia a grande dificuldade da questão. Não obstante tratar-se de uma questão de formato bem tradicional, no entender da banca, embora o professor de química no Ensino Médio trate extensivamente a questão do íon comum no equilíbrio químico, o estudante só percebe esse fenômeno como uma “adição” de substâncias, como uma operação manual, por exemplo. Ele não percebe que isso pode ser feito de outra forma como, por exemplo, a adição e remoção de íons  $H^+$  associada à respiração. O que controla o pH do sangue é o equilíbrio  $CO_2/HCO_3^-$ , e não a nicotina, como boa parte dos candidatos pensou. Assim, o pH do sangue é essencialmente dependente da maior ou menor presença de  $CO_2$ , que em sua dissolução “adiciona” o íon comum ( $H^+$ ) ao sangue, por um processo natural do metabolismo.

A nota média de 0,5 em 4,0 pontos possíveis denota a extrema dificuldade dos candidatos, o que é corroborado pelo altíssimo percentual de zeros: 70%. A banca avaliou essa questão como difícil, mas não esperava um desempenho tão baixo, principalmente pelo formato tradicional do item **b** e pelas informações (dicas) dadas. É importante notar que o texto fornece o valor do logaritmo de 4, o que indica uma obrigatoriedade de uso na resolução da questão. O que mais surpreendeu, no entanto, foi o fato de muitos candidatos tentarem resolver o item **a**, que trata de uma comparação numérica de grandezas, sem utilizar nenhum valor numérico e muito menos as informações quantitativas incluídas no texto da questão (gráfico).