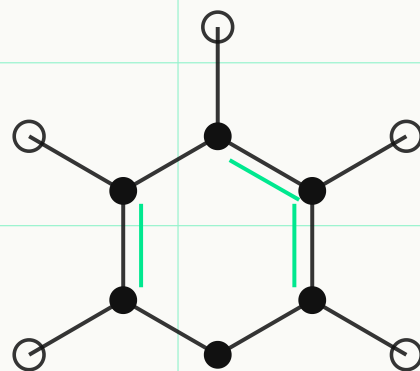
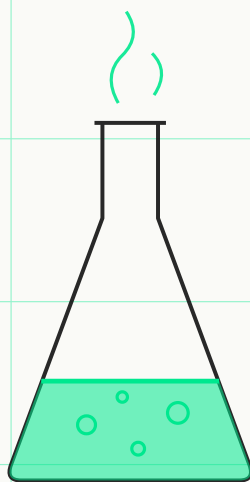
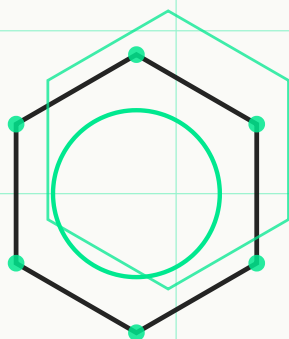


# QUÍMICA

Sete assuntos com teoria, exercício resolvido e questão para praticar, mais os macetes que separam quem entendeu de quem decorou.



# O QUE TEM AQUI DENTRO

## OS SETE ASSUNTOS

|           |                                                                                                                              |           |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>01</b> | <b>Tabela periódica e terras raras</b>                                                                                       | <b>05</b> |
|           | O que explica por que um elemento reage do jeito que reage, sem decorar as propriedades de cada um dos 118.                  |           |
| <b>02</b> | <b>Funções inorgânicas</b>                                                                                                   | <b>15</b> |
|           | Que comportamento uma substância tem em contato com água. Ela solta $H^+$ , solta $OH^-$ ou não faz nem uma coisa nem outra. |           |
| <b>03</b> | <b>Estequiometria</b>                                                                                                        | <b>25</b> |
|           | Dado um número no começo da reação, qual número eu preciso no fim.                                                           |           |
| <b>04</b> | <b>Eletroquímica</b>                                                                                                         | <b>35</b> |
|           | Quem perde elétron, quem ganha, e para que lado a reação decide ir sozinha.                                                  |           |
| <b>05</b> | <b>Química orgânica</b>                                                                                                      | <b>45</b> |
|           | Dado o desenho de uma molécula, que função ela tem e como ela se comporta.                                                   |           |
| <b>06</b> | <b>Química ambiental</b>                                                                                                     | <b>55</b> |
|           | Como um texto sobre poluição embrulha uma pergunta de estequiometria, de função inorgânica ou de eletroquímica.              |           |
| <b>07</b> | <b>Radioatividade</b>                                                                                                        | <b>65</b> |
|           | O que um núcleo instável emite, e em que ele se transforma depois de emitir.                                                 |           |

## PARA CONSULTAR A QUALQUER MOMENTO

|  |                                                          |           |
|--|----------------------------------------------------------|-----------|
|  | <b>Como usar esta apostila</b>                           | <b>03</b> |
|  | <b>Mapa de conexões entre os assuntos</b>                | <b>04</b> |
|  | <b>Formulário</b>                                        | <b>72</b> |
|  | Todas as contas do material, agrupadas por assunto.      |           |
|  | <b>Tabela periódica</b>                                  | <b>77</b> |
|  | Página em paisagem, com QR code para a versão A3.        |           |
|  | <b>Gabarito comentado</b>                                | <b>78</b> |
|  | Resposta e o motivo do erro das 24 questões de praticar. |           |

# COMO USAR ESTA APOSTILA

Química não entra por leitura passiva. O que fixa é tentar a questão, errar e entender onde errou. Esta apostila foi montada nessa ordem.

- 01 Tente antes de ler a resolução.** Cada assunto traz dois exercícios resolvidos com o enunciado completo. Cubra a resolução, tente sozinho e só depois confira. A explicação rende muito mais depois de uma tentativa de verdade.
- 02 Leia a teoria quando ela fizer falta.** As três páginas de teoria de cada assunto não são para decorar de uma vez. Elas existem para você voltar quando um exercício travar.
- 03 Pratique sem espiar o gabarito.** As quatro questões que fecham cada assunto não trazem resposta ao lado, e isso é de propósito. O gabarito comentado fica nas últimas páginas.
- 04 Volte ao que errou depois de alguns dias.** Errar na primeira tentativa faz parte. Errar de novo na segunda é o sinal de que aquela teoria pede outra leitura.

## TODO ASSUNTO SEGUE A MESMA SEQUÊNCIA

### ABERTURA E TEORIA

O que o assunto responde, o recorte que a prova prefere e a teoria em três páginas.

### DICA DO PROF E RESOLVIDOS

Os macetes do professor e duas questões reais resolvidas passo a passo.

### DERRUBA E PRATICAR

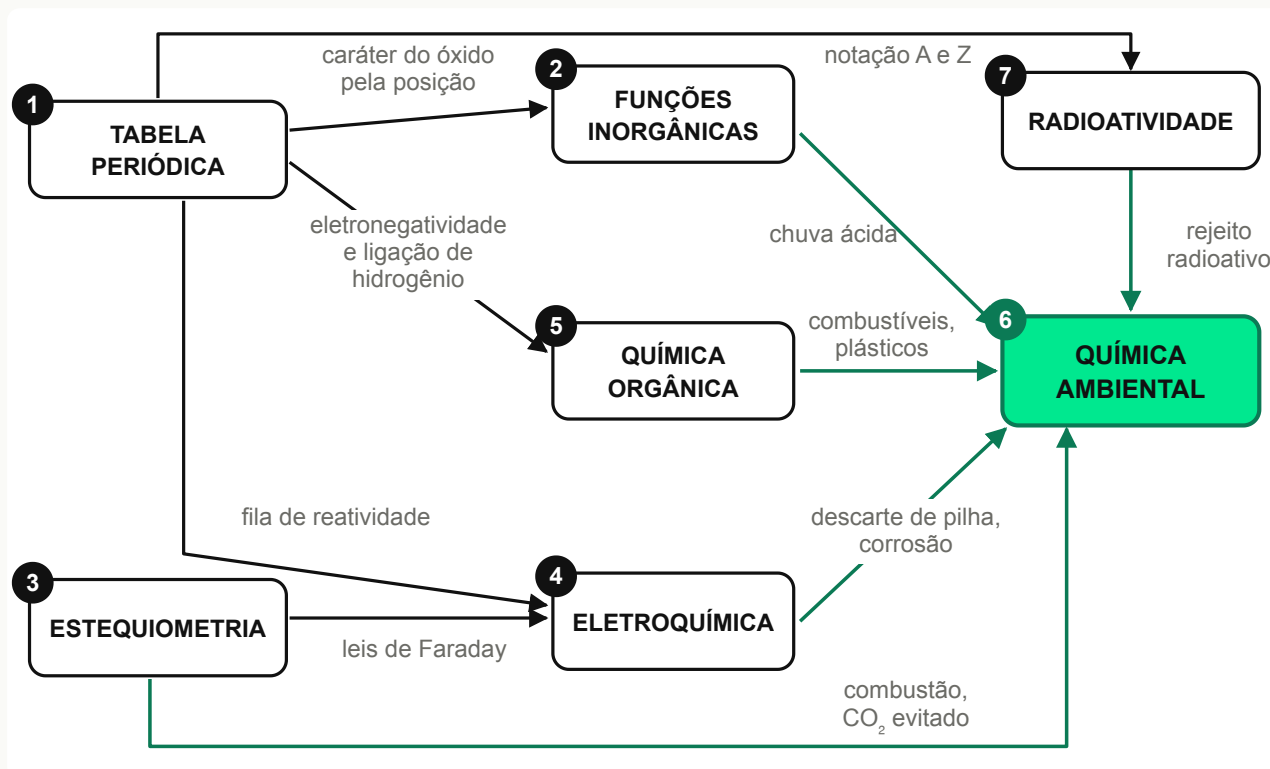
As pegadinhas do assunto e quatro questões para você tentar sozinho.

## O QUE ESTA APOSTILA NÃO COBRE, E POR QUÊ

Ficam de fora a nomenclatura orgânica de construção (as regras de numerar cadeia principal e ordenar ramificação) e o equilíbrio iônico ( $K_a$ ,  $K_b$ , lei de Ostwald e solução tampão). São conteúdos que o ENEM não cobra nesse nível, e cobri-los aqui roubaria espaço do que cai. Onde um assunto para, a apostila avisa em qual capítulo da sua apostila regular ele continua.

# SETE ASSUNTOS QUE SE APOIAM ENTRE SI

Química é uma matéria em que os assuntos se cruzam o tempo todo. A ordem desta apostila não é a ordem alfabética nem a do livro didático. Cada assunto entra depois daquele de que ele precisa, e o diagrama abaixo mostra por quê.



## POR QUE A TABELA PERIÓDICA ABRE

Ela é o mapa de tudo. A posição de um elemento explica o caráter do óxido que ele forma, a facilidade com que ele perde elétron numa pilha e a polaridade das ligações que ele faz em química orgânica.

## POR QUE A RADIOATIVIDADE VEM POR ÚLTIMO

Porque ela muda de andar. Os seis primeiros assuntos acontecem na eletrosfera, com elétron mudando de lugar. A radioatividade acontece no núcleo, e é o único assunto em que um elemento vira outro. A química ambiental, logo antes dela, usa todas as anteriores, porque no ENEM ela é o texto que embrulha uma pergunta de estequiometria, de função inorgânica ou de eletroquímica.

# TABELA PERIÓDICA E TERRAS RARAS

01

O que explica por que um elemento reage do jeito que reage, sem decorar as propriedades de cada um dos 118.

0

tabelas periódicas fornecidas pelo ENEM entre 2015 e 2025.  
Todo dado que a conta precisa vem escrito no enunciado.

## POR QUE CAI

Como a prova não entrega a tabela, o que ela exige de memória é a geografia. Onde ficam as famílias e para que lado crescem as propriedades. Seis roupagens se repetem. Gás nobre quebrando a regra do octeto, raio associado a carga explicando toxicidade, eletronegatividade decidindo caráter iônico, reatividade lida por eletroquímica, elemento estratégico servindo de cenário para outro conteúdo, e metais pesados em contexto ambiental.

## O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ As duas âncoras de canto, que substituem seis setas por uma pergunta só
- ☐ Achar período, bloco e grupo a partir da configuração eletrônica
- ☐ Contração lantanídica e o que são, de fato, as terras raras
- ☐ O que são terras raras e por que elas são difíceis de separar
- ☐ As famílias e a coluna a que cada elemento pertence

### COMO ACHAR O GRUPO PELA CONFIGURAÇÃO

bloco s  $\rightarrow$  grupo =  $e^-$  no ns

bloco p  $\rightarrow$  grupo = 12 +  $e^-$  no np

bloco d  $\rightarrow$  grupo = ns + (n-1)d

### NA PRÁTICA

A questão do nióbio e do tântalo, que caiu em 2018, parece pergunta de mitologia grega. Ela resolve com uma frase só. Mesmo grupo, mesma química.

## Como a tabela está organizada

São 118 elementos confirmados, ordenados por **número atômico crescente**, e não por massa. Quem trocou o critério foi Moseley, em 1913, e a troca resolveu as inversões que Mendeleev precisava forçar para manter as famílias coerentes.

### Período, a linha horizontal

Vale o número de **camadas eletrônicas** do átomo. O 4º período reúne elementos com quatro camadas ocupadas.

### Grupo, a coluna vertical

Reúne elementos com a **mesma configuração de valência**. É por isso que eles têm química parecida, e é essa a resposta que a prova quer quando pergunta por que dois elementos se comportam igual.

### Bloco, pelo subnível do elétron diferencial

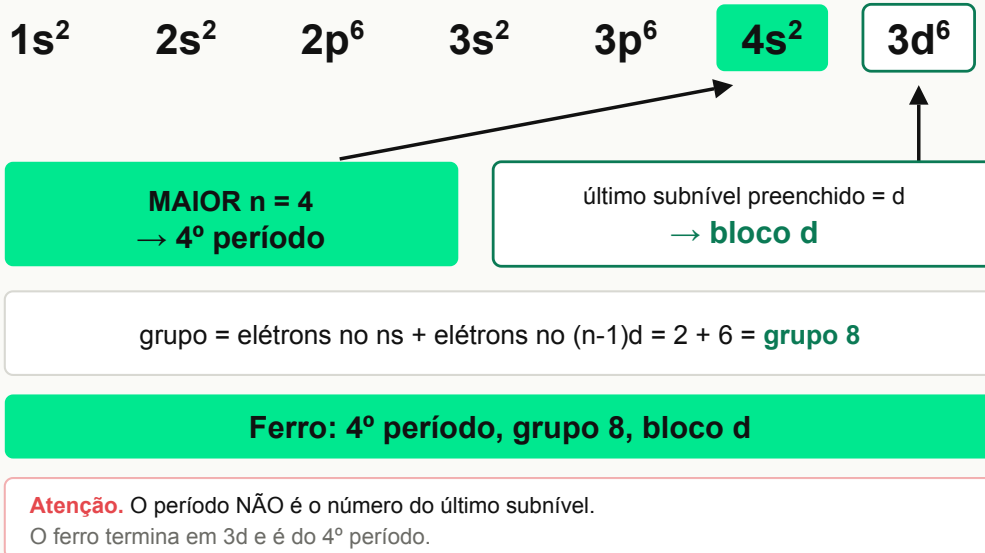
Bloco s nos grupos 1 e 2, bloco p nos grupos 13 a 18, bloco d nos elementos de transição, bloco f nos lantanídeos e actinídeos, que ficam destacados embaixo por economia de espaço.

1s · 2s · 2p · 3s · 3p · 4s · 3d · 4p · 5s · 4d · 5p · 6s · 4f · 5d · 6p · 7s ·  
5f · 6d · 7p

Diagrama de Pauling, em ordem energética crescente. Cada subnível comporta um número fixo de elétrons, 2 no s, 6 no p, 10 no d e 14 no f.

### Da configuração eletrônica para a posição na tabela

Exemplo do ferro (Fe), Z = 26



### GUARDE ISTO

Período é o número de camadas, e não o número do último subnível preenchido. O ferro termina em 3d e mesmo assim é do 4º período, porque tem elétrons no nível 4. Grupo é a configuração de valência, e é ela que decide a química.

## Propriedades periódicas, com a causa por trás

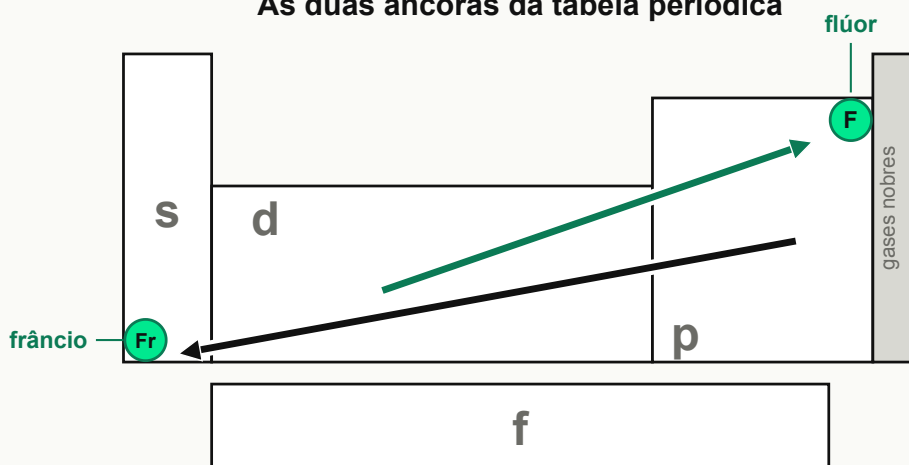
Todas as setas de propriedade periódica saem de um motor só, a **carga nuclear efetiva**, que é a atração que o núcleo consegue exercer sobre o elétron mais externo depois do efeito de blindagem dos elétrons internos.

Descendo num grupo, entra uma camada nova. O elétron de valência fica mais longe e mais blindado, então a atração cai. Andando para a direita num período, entra próton no núcleo mas o elétron novo vai para a **mesma** camada, que blinda mal. A carga efetiva sobe e a eletrosfera encolhe.

| PROPRIEDADE          | CRESCE NA DIREÇÃO            | CAMPEÃO         |
|----------------------|------------------------------|-----------------|
| Raio atômico         | para baixo e para a esquerda | frâncio         |
| Energia de ionização | para cima e para a direita   | <b>hélio</b>    |
| Eletronegatividade   | para cima e para a direita   | flúor, com 3,98 |
| Afinidade eletrônica | para cima e para a direita   | <b>cloro</b>    |
| Caráter metálico     | para baixo e para a esquerda | frâncio         |
| Densidade            | das bordas para o centro     | <b>ósmio</b>    |

As três linhas em destaque são as que a prova mais usa para derrubar. A afinidade eletrônica do cloro supera a do flúor porque o flúor é pequeno demais, e a repulsão entre seus elétrons desconta parte da energia liberada.

### As duas âncoras da tabela periódica



#### SOLTA ELÉTRON

raio atômico, caráter metálico



#### PUXA ELÉTRON

eletronegatividade, energia de ionização, afinidade eletrônica

Gases nobres ficam fora da comparação de eletronegatividade.

### GUARDE ISTO · AS DUAS ÂNCORAS DE CANTO

O flúor mora no canto superior direito e é campeão de tudo que significa puxar elétron. O frâncio mora no canto inferior esquerdo e é campeão de tudo que significa soltar elétron e ser grande. Diante de qualquer propriedade, pergunte se ela puxa ou solta elétron, e a direção aparece sozinha.

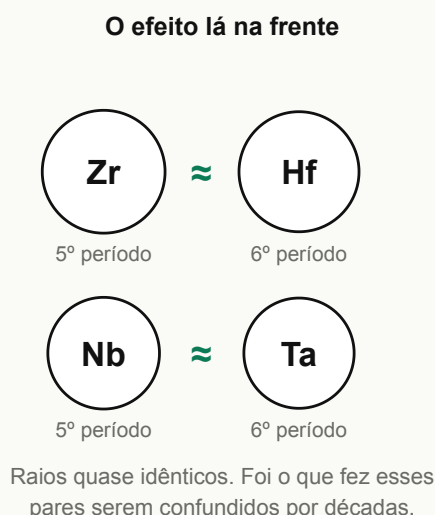
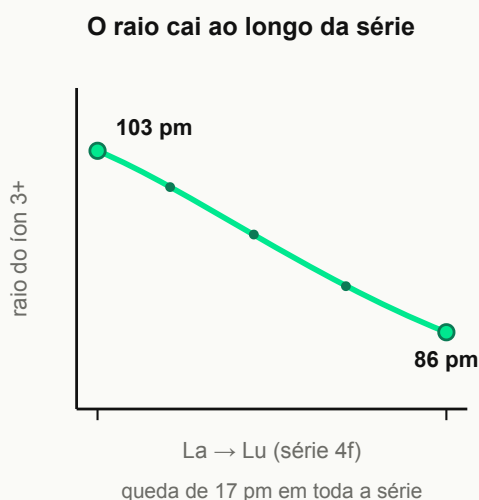
## Terras raras, o recorte que virou assunto de capa

Pela definição da IUPAC são **17 elementos**. Os 15 lantanídeos, que vão do lantânio ao lutécio, mais o escândio e o ítrio. Esses dois últimos entram porque formam cátions 3+ de raio muito parecido e aparecem nos mesmos minérios.

### O NOME ESTÁ ERRADO NOS DOIS PEDAÇOS

Não são terras, porque foram descobertas na forma de óxidos, e óxido refratário se chamava terra na nomenclatura antiga. E não são raras. O cério é mais abundante na crosta que o cobre. A dificuldade real está em **separá-las umas das outras**, porque todas formam íons 3+ de raio praticamente igual.

A causa dessa semelhança tem nome, **contração lantanídica**. Ao longo da série, o elétron diferencial entra no subnível 4f, que é interno e blindagem mal. A carga nuclear cresce sem blindagem à altura, e o raio encolhe suavemente do lantânio até o lutécio.



O efeito colateral é célebre. Por causa da contração lantanídica, o par zircônio e háfnio e o par nióbio e tântalo ficaram com raios quase idênticos, e por isso foram confundidos durante décadas. Segure essa ponte, porque ela reaparece no primeiro exercício resolvido deste assunto.

### GUARDE ISTO

Segundo o levantamento do USGS de fevereiro de 2026, o Brasil tinha cerca de 11 milhões de toneladas de reservas de terras raras, o segundo maior volume do mundo, atrás apenas da China, e ainda assim respondia por perto de 0,5% da produção global. Vale saber que esse número foi revisado para baixo naquele ano, e que muita reportagem ainda repete o valor antigo, de 21 milhões. Essa distância entre o que o país tem no subsolo e o que ele produz é o contexto que mais aparece em prova.

## O jeito rápido de ler a tabela

### 01 As duas âncoras de canto

Em vez de decorar seis setas, decore dois elementos e uma pergunta. O flúor fica no canto superior direito, o frâncio no canto inferior esquerdo. Toda propriedade que significa puxar elétron cresce na direção do flúor. Toda propriedade que significa soltar elétron e ser grande cresce na direção do frâncio. Densidade e ponto de fusão não têm canto, apontam para o miolo da tabela, e por isso não entram na regra.

### 02 O raio manda em tudo

Elétron longe do núcleo sai fácil e é mal segurado. Raio grande significa energia de ionização baixa e eletronegatividade baixa. Uma informação só resolve três propriedades.

### 03 Achar a posição em dez segundos

Distribua pelo diagrama de Pauling e olhe o maior nível ocupado, que dá o período. Olhe o último subnível preenchido, que dá o bloco. Conte os elétrons de valência conforme o bloco, e sai o grupo.

### 04 Os alcalinoterrosos numa frase

Bela Magra Casou com Estrangeiro Barrigudo e Rabugento, para lembrar berílio, magnésio, cálcio, estrôncio, bário e rádio na ordem em que aparecem na coluna 2.

**Terra rara é fácil de achar.  
O caro é separar uma da outra.**

O cério é mais abundante na crosta que o cobre. O gargalo sempre foi a separação

Na mitologia grega, Nióbia era a filha de Tântalo, dois personagens conhecidos pelo sofrimento. O elemento químico de número atômico ( $Z$ ) igual a 41 tem propriedades químicas e físicas tão parecidas com as do elemento de número atômico 73 que chegaram a ser confundidos. Por isso, em homenagem a esses dois personagens da mitologia grega, foi conferido a esses elementos os nomes de nióbio ( $Z = 41$ ) e tântalo ( $Z = 73$ ). Esses dois elementos químicos adquiriram grande importância econômica na metalurgia, na produção de supercondutores e em outras aplicações na indústria de ponta, exatamente pelas propriedades químicas e físicas comuns aos dois.

**A importância econômica e tecnológica desses elementos, pela similaridade de suas propriedades químicas e físicas, deve-se a**

- (A) terem elétrons no subnível f.
- (B) serem elementos de transição interna.
- (C) pertencerem ao mesmo grupo na tabela periódica.
- (D) terem seus elétrons mais externos nos níveis 4 e 5, respectivamente.
- (E) estarem localizados na família dos alcalinos terrosos e alcalinos, respectivamente.

### Como resolver

- 01** Sempre que a prova pergunta por que dois elementos têm química parecida, a resposta é a mesma. Eles estão no mesmo grupo, portanto têm a mesma configuração de valência.
- 02** Confirme a posição. O nióbio fica no 5º período e o tântalo no 6º, e os dois estão no **grupo 5**, ou seja, com cinco elétrons de valência.
- 03** Descarte B, porque nenhum dos dois é de transição interna. Os dois são do bloco d.
- 04** Descarte A pelo nióbio, que não tem elétron nenhum em subnível f. O tântalo tem o 4f completo, mas ele fica abaixo da camada de valência e não decide a química.
- 05** Descarte D, que confunde período com grupo. Semelhança química nunca vem do período.
- 06** Descarte E, que os coloca em famílias representativas, contrariando o bloco d.

**C**Resposta correta · **pertencerem ao mesmo grupo** na tabela periódica

### O CAMINHO MAIS RÁPIDO

A semelhança entre nióbio e tântalo é mais forte do que o esperado só por serem do mesmo grupo, e a causa é a contração lantanídica que você viu na teoria deste assunto. Os 15 lantanídeos entram entre o bário e o háfnio preenchendo o 4f, que blinda mal, e o raio do tântalo encolhe até ficar quase igual ao do nióbio. Esta questão de tabela periódica é, no fundo, uma questão sobre terras raras.

ENEM 2023

Os solos amazônicos, ricos em silicato, não são apropriados para o cultivo por serem incapazes de reter nutrientes. Contudo, descobertas arqueológicas têm demonstrado que os antigos habitantes da Amazônia dominavam a técnica de preparo de um insumo agrícola natural, denominado terra preta.

Admite-se que o efeito do biocarvão na fertilização do solo estava, em parte, relacionado à presença de grupos orgânicos do tipo carboxilato em sua superfície, carregados negativamente. Esses grupos atraem íons positivos necessários como nutrientes, tais quais os provenientes do potássio, do cálcio e do magnésio, além de micronutrientes, como zinco e ferro. Essa ligação no solo fertilizado é predominantemente iônica. De acordo com a escala de Pauling, a eletronegatividade do elemento oxigênio é igual a 3,44.

| ELEMENTO METÁLICO  | K    | CA   | MG   | ZN   | FE   |
|--------------------|------|------|------|------|------|
| Eletronegatividade | 0,82 | 1,00 | 1,31 | 1,65 | 1,83 |

O cátion que resultará em uma interação de maior caráter iônico com o ânion carboxilato será aquele proveniente do elemento

- (A) potássio.
- (B) cálcio.
- (C) magnésio.
- (D) zinco.
- (E) ferro.

### Como resolver

- 01** O caráter iônico de uma ligação cresce com a **diferença de eletronegatividade** entre os átomos ligados.
- 02** O carboxilato prende o metal pelo oxigênio, cuja eletronegatividade o próprio enunciado entrega, 3,44.
- 03** Calcule a diferença para cada cátion e escolha a maior.

$$\begin{aligned} \text{K} \rightarrow 3,44 - 0,82 &= 2,62 & \cdot & \text{Ca} \rightarrow 2,44 & \cdot & \text{Mg} \rightarrow 2,13 & \cdot & \text{Zn} \rightarrow 1,79 & \cdot \\ & & & \text{Fe} \rightarrow 1,61 \end{aligned}$$

**A**Resposta correta · **potássio**, com a maior diferença de eletronegatividade

### O CAMINHO MAIS RÁPIDO

Dá para responder sem fazer conta nenhuma. Entre os cinco, o potássio é o alcalino, o mais à esquerda e mais abaixo na tabela, portanto o mais eletropositivo. A âncora de canto do frâncio resolve sozinha. Repare também no contrato que a prova ofereceu, e que se repete o tempo todo em Química. Ela entregou os seis valores numéricos e cobrou apenas duas coisas que não estavam na folha, saber que caráter iônico se mede por diferença de eletronegatividade e saber que o carboxilato se liga pelo oxigênio.

## As quatro confusões que custam ponto

### Usar a seta do raio atômico para comparar íons

Comparar sódio com cloro pela seta funciona, o sódio é maior. Comparar o cátion sódio com o ânion cloreto pela mesma seta é erro grave. O cátion sódio é  **muito menor**  que o ânion cloreto, porque perdeu uma camada inteira, enquanto o cloreto ganhou elétron e inchou.

### Tratar energia de ionização, eletronegatividade e afinidade eletrônica como sinônimos

As três crescem na mesma direção geral, o que engana. Energia de ionização e afinidade eletrônica são energias medidas em átomo isolado e gasoso, em quilojoule por mol. Eletronegatividade é uma grandeza comparativa, adimensional, e só faz sentido dentro de uma ligação. Um átomo sozinho não exerce eletronegatividade.

### Apostar no elemento mais famoso como campeão

A maior energia de ionização é do hélio, e não do flúor. A maior afinidade eletrônica é do cloro, e não do flúor. O elemento mais denso é o ósmio, e não o ouro nem o chumbo. O raio maior é do frâncio. Quando a alternativa oferece o nome mais conhecido do assunto, desconfie.

### Achar que terras raras é sinônimo de lantanídeos

São 17 elementos, os 15 lantanídeos de lantânio a lutécio, mais o escândio e o ítrio. E os actinídeos  **não**  são terras raras, mesmo ocupando a região vizinha da tabela. Outro erro da mesma família é confundir mineral crítico com terra rara. Lítio, nióbio, grafite e cobalto são críticos, mas nenhum deles é terra rara.

## Agora é com você

01

UNESP 2020 · 2ª FASE

Parte das areias das praias do litoral sul do Espírito Santo é conhecida pelos depósitos minerais contendo radioisótopos na estrutura cristalina. A inspeção visual, por meio de lupa, de amostras dessas areias revela serem constituídas basicamente de misturas de duas frações: uma, em maior quantidade, com grãos irregulares variando de amarelo escuro a translúcido, que podem ser atribuídos à ocorrência de quartzo, silicatos agregados e monazitas; e outra, com grãos bem mais escuros, facilmente atraídos por um ímã, contendo óxidos de ferro magnéticos associados a minerais não magnéticos.

As fórmulas químicas das monazitas presentes nessas areias foram estimadas a partir dos teores elementares de terras raras e tório e são compatíveis com a fórmula  $\text{Ce}^{3+}_{0,494}\text{La}^{3+}_{0,24}\text{Nd}^{3+}_{0,20}\text{Th}^{4+}_{0,05}(\text{PO}_4^{3-})$ .

*Flávia dos Santos Coelho et al. Óxidos de ferro e monazita de areias de praias do Espírito Santo. Química Nova, vol. 28, nº 2, março e abril de 2005. Adaptado.*

- Qual o nome do processo de separação de misturas utilizado para separar as partes escuras das claras da areia monazítica? Com base na fórmula química apresentada, demonstre que a monazita é eletricamente neutra.
- O principal responsável pela radioatividade da areia monazítica é o tório-232, um emissor de partículas alfa. Escreva a equação que representa essa emissão e calcule o número de nêutrons do nuclídeo formado.

02

FATEC 2019

Terras-raras é o nome dado ao conjunto dos dezessete elementos químicos da Tabela Periódica, formado pelos quinze lantanídeos mais o escândio e o ítrio. Sobre esses elementos químicos e a localização das suas principais reservas mundiais, podemos afirmar corretamente que

- possuem distintas aplicações em diversos setores da economia, como na silvicultura, na pecuária e na construção civil. As maiores concentrações localizam-se na república da Guiné.
- são utilizados pelo agronegócio internacional para transformar terras outrora estéreis em terras aptas à utilização agrícola. As principais jazidas estão estabelecidas na Arábia Saudita.
- suas ocorrências se dão em pequenas concentrações, misturadas a outros minerais, tornando difícil o processo de separação. As maiores reservas mundiais encontram-se na China.
- ocorrem em áreas superficiais de fácil extração, sendo encontrados em mares rasos, estando associados às jazidas de minerais fósseis. As jazidas mais antigas situam-se no Japão.
- também são denominados metais raros e encontram-se nas minas de aluvião, sendo separados da rocha por um instrumento chamado bateia. Suas principais reservas estão no Chile.

**Agora é com você****03****ENEM 2019**

Por terem camada de valência completa, alta energia de ionização e afinidade eletrônica praticamente nula, considerou-se por muito tempo que os gases nobres não formariam compostos químicos. Porém, em 1962, foi realizada com sucesso a reação entre o xenônio (camada de valência  $5s^25p^6$ ) e o hexafluoreto de platina, e desde então mais compostos novos de gases nobres vêm sendo sintetizados. Tais compostos demonstram que não se pode aceitar acriticamente a regra do octeto, na qual se considera que, numa ligação química, os átomos tendem a adquirir estabilidade assumindo a configuração eletrônica de gás nobre. Dentre os compostos conhecidos, um dos mais estáveis é o difluoreto de xenônio, no qual dois átomos do halogênio flúor (camada de valência  $2s^22p^5$ ) se ligam covalentemente ao átomo de gás nobre para ficarem com oito elétrons de valência.

**Ao se escrever a fórmula de Lewis do composto de xenônio citado, quantos elétrons na camada de valência haverá no átomo do gás nobre?**

- ☐ A 6
- ☐ B 8
- ☐ C 10
- ☐ D 12
- ☐ E 14

**04****ENEM 2017**

No ar que respiramos existem os chamados "gases inertes". Trazem curiosos nomes gregos, que significam "o Novo", "o Oculto", "o Inativo". E de fato são de tal modo inertes, tão satisfeitos em sua condição, que não interferem em nenhuma reação química, não se combinam com nenhum outro elemento e justamente por esse motivo ficaram sem ser observados durante séculos: só em 1962 um químico, depois de longos e engenhosos esforços, conseguiu forçar "o Estrangeiro" (o xenônio) a combinar-se fugazmente com o flúor ávido e vivaz, e a façanha pareceu tão extraordinária que lhe foi conferido o Prêmio Nobel.

*LEVI, P. A tabela periódica. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, 1994. Adaptado.*

**Qual propriedade do flúor justifica sua escolha como reagente para o processo mencionado?**

- ☐ A Densidade.
- ☐ B Condutância.
- ☐ C Eletronegatividade.
- ☐ D Estabilidade nuclear.
- ☐ E Temperatura de ebulição.

Gabarito comentado na página 78



# FUNÇÕES INORGÂNICAS

Que comportamento uma substância tem em contato com água. Ela solta  $H^+$ , solta  $OH^-$  ou não faz nem uma coisa nem outra.

## 2 a 3

questões por prova têm função inorgânica como eixo, e não apenas como cenário do enunciado.

### POR QUE CAI

O vocabulário do tema circula por cinco ou seis questões em cada edição, e os contextos se repetem. Solo e agricultura, chuva ácida, alimentos e bebidas, amônia e ciclo do nitrogênio, indústria e saúde bucal. O que praticamente não aparece é a taxonomia formal. De 2016 a 2025, palavras como anfótero e grau de ionização não foram escritas nenhuma vez. O ENEM cobra o comportamento da substância, não a classificação pelo nome.

### O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ Arrhenius em nível operacional, ácido libera  $H^+$  e base libera  $OH^-$
- ☐ A diferença entre força, concentração e solubilidade, a pegadinha mestra do capítulo
- ☐ Hidrólise salina, quem hidrolisa e quem manda no pH da solução
- ☐ Caráter do óxido lido pela posição do elemento na tabela periódica
- ☐ pH em nível de leitura, com escala, indicadores e comparação de pKa

#### AS DUAS QUE VOCÊ USA AQUI

$$pH = -\log[H^+]$$

$$pH + pOH = 14, \text{ a } 25^\circ C$$

$$\text{Pauling} \rightarrow x = n^\circ O - n^\circ H \text{ ionizáveis}$$

#### ONDE ESTE ASSUNTO PARA

pH e pKa entram aqui como leitura e comparação, que é como a prova cobra. Ka, Kb, grau de ionização, lei de Ostwald e solução tampão pertencem a Equilíbrio iônico, um capítulo que esta apostila não cobre.

## Ácidos e bases, e o que significa ser forte

### Arrhenius, o único conceito que o ENEM pressupõe

Ácido é a substância que ioniza em água liberando  $H^+$ . Base é a que dissocia liberando  $OH^-$ . Como o conceito está amarrado à solução aquosa, a matriz do INEP coloca funções inorgânicas dentro do objeto de conhecimento Água.

### Brønsted-Lowry, em nível de leitura

Ácido doa próton, base recebe próton. Você precisa reconhecer a ideia quando o enunciado usar, e o enunciado costuma explicar a definição na própria questão. Nenhuma questão analisada pediu para nomear a teoria.

Todo ácido de Arrhenius também é ácido de Brønsted, então as duas definições convivem sem conflito. Use a de Arrhenius como padrão e a de Brønsted como leitura.

## CLASSIFICAÇÃO DE ÁCIDOS

Pela presença de oxigênio, os **oxiácidos** têm oxigênio na fórmula e os **hidrácidos** não têm. Pelo número de hidrogênios ionizáveis, um ácido pode ser monoprótico, diprótico ou triprótico, e esse número decide a proporção de qualquer titulação.

| COMO MEDIR A FORÇA DE UM ÁCIDO     | CRITÉRIO                                                               |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Grau de ionização                  | forte acima de 50%, moderado entre 5% e 50%, fraco abaixo de 5%        |
| Regra de Pauling, só para oxiácido | $x = 3$ muito forte · $x = 2$ forte · $x = 1$ moderado · $x = 0$ fraco |
| Hidrácidos, lista fechada          | <b>fortes são HCl, HBr e HI · moderado é só o HF · o resto é fraco</b> |

### GUARDE ISTO

Força é grau de ionização, uma propriedade da substância. Não confunda com concentração, que é quantidade por volume e é propriedade da solução. As quatro combinações existem, e o ácido acético glacial é justamente um ácido fraco e concentrado ao mesmo tempo.

## Bases e sais

Em bases, dois critérios diferentes carregam nomes parecidos e vivem sendo trocados um pelo outro. Solubilidade responde quanto da base se dissolve. Força responde quanto da parte dissolvida se dissocia. Uma coisa não implica a outra.

### Força e solubilidade são critérios diferentes

|                      |               |                                                                                                                                                     |                                                                                                                     |
|----------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      |               | força (grau de ionização)                                                                                                                           |                                                                                                                     |
|                      |               | FRACA                                                                                                                                               | FORTE                                                                                                               |
| solubilidade em água | SOLÚVEL       | <b>CONTRAEXEMPLO</b><br><b><math>\text{NH}_4\text{OH}</math></b><br>base fraca que dissolve bem<br>(solução de amônia)                              | <b><math>\text{NaOH}</math>, <math>\text{KOH}</math></b><br>bases de metal alcalino<br>fortes e muito solúveis      |
|                      | POUCO SOLÚVEL | <b><math>\text{Fe}(\text{OH})_3</math>, <math>\text{Al}(\text{OH})_3</math></b><br>hidróxidos dos demais metais<br>fracos e praticamente insolúveis | <b>CONTRAEXEMPLO</b><br><b><math>\text{Ca}(\text{OH})_2</math></b><br>base forte e pouco solúvel<br>(a cal apagada) |

Os dois destaques são os que a prova cobra.

### SOLUBILIDADE

Bases de grupo 1 e de amônio são solúveis. As de grupo 2 são pouco solúveis, com o hidróxido de bário sendo o mais solúvel da coluna. As demais são insolúveis. O que os livros chamam de hidróxido de amônio é, na verdade, solução aquosa de amônia.

### FORÇA

Grupo 1 e grupo 2 formam bases fortes, com exceção de berílio e magnésio. Hidróxido de amônio e as bases dos demais metais são fracas.

Os dois contraexemplos que a prova adora estão marcados na figura. O hidróxido de cálcio é pouco solúvel e ainda assim forte. O hidróxido de amônio é muito solúvel e ainda assim fraco.

**Sais** nascem de uma neutralização, e o caráter da solução final depende de quem eram os pais.

| ORIGEM DO SAL              | HIDRÓLISE  | SOLUÇÃO FICA     | EXEMPLO                     |
|----------------------------|------------|------------------|-----------------------------|
| ácido forte com base forte | não ocorre | neutra           | $\text{NaCl}$               |
| ácido forte com base fraca | do cátion  | ácida            | $\text{NH}_4\text{Cl}$      |
| ácido fraco com base forte | do ânion   | básica           | $\text{NaHCO}_3$            |
| ácido fraco com base fraca | dos dois   | depende dos dois | $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ |

### GUARDE ISTO

Quem hidrolisa é o componente fraco do sal. Quem decide o pH final é o componente forte. Desmonte o sal no ácido e na base que o formaram, veja qual dos dois era fraco, e o pH vai para o lado do forte.

## Óxidos e leitura de pH

Óxido é um composto **binário** em que o oxigênio é o elemento mais eletronegativo. Essa definição tem uma consequência direta, nenhum composto com flúor é óxido, porque o flúor é mais eletronegativo que o oxigênio.

O caráter do óxido vai de básico a ácido

|                                                                      |                                                                                     |                                                               |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| <b>ÓXIDO BÁSICO</b><br>metal<br>$\text{Na}_2\text{O}$ , $\text{CaO}$ | <b>ANFÓTERO</b><br>os dois comportamentos<br>$\text{ZnO}$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ | <b>ÓXIDO ÁCIDO</b><br>ametal<br>$\text{SO}_3$ , $\text{CO}_2$ |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|

maior ← diferença de eletronegatividade com o oxigênio → menor

**Os anfóteros que caem: Zn, Al, Pb, Sn, As**

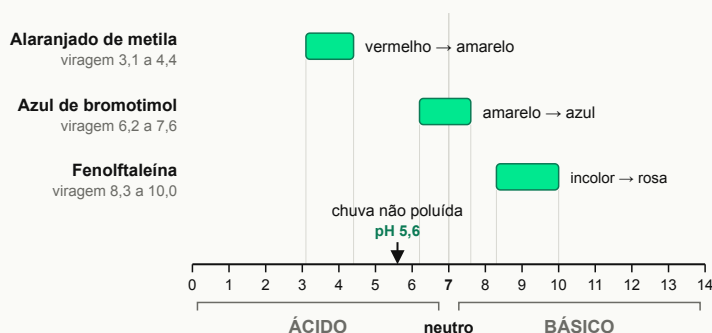
Fora dessa lista, metal forma óxido básico e ametal forma óxido ácido.

A regra que organiza tudo mora na diferença de eletronegatividade com o oxigênio. Quanto maior essa diferença, mais iônico e mais **básico** o óxido. Quanto menor, mais covalente e mais **ácido**. Os anfóteros ocupam a faixa do meio e desenharam uma diagonal na tabela. Vale saber ainda que o mesmo metal muda de classe conforme o nox, e que os óxidos neutros são apenas três,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}$  e  $\text{N}_2\text{O}$ .

**pH, no nível que a prova cobra.** Na prática escolar a escala vai de 0 a 14 a 25 °C e é logarítmica, o que significa que cada unidade vale um fator de dez. Quando a concentração de  $\text{H}^+$  é uma potência exata de dez, o pH sai sem conta nenhuma.

$$[\text{H}^+] = 1 \times 10^{-n} \rightarrow \text{pH} = n$$

Escala de pH e faixa de viragem dos indicadores



### GUARDE ISTO · PKA É DADO, NUNCA CALCULADO

Quando a prova precisa de pKa, ela entrega o valor pronto no enunciado e pergunta qual forma predomina em determinado pH. Quanto menor o pKa, mais forte o ácido. Você nunca precisa calcular Ka a partir dele.

## Os atalhos que resolvem sem decoreba pesada

### 01 Solubilidade e força de base numa frase cada

Solubilidade, grupo 1 e amônio são solúveis, grupo 2 é pouco solúvel, o resto é insolúvel. Força, grupo 1 e grupo 2 são fortes menos berílio e magnésio, e o hidróxido de amônio é o traidor, solúvel mas fraco.

### 02 O melô da solubilidade dos sais

Nitratos e acetatos são sempre solúveis, assim como os sais de alcalinos e de amônio. Nos haletos, quem estraga a regra é a trinca prata, mercúrio e chumbo. Nos sulfatos, quem estraga são cálcio, estrôncio, bário e chumbo.

### 03 A lista curta e segura dos anfóteros

Guarde zinco, alumínio, chumbo, estanho e arsênio, que são os que aparecem em prova. Circula por aí um mnemônico mais longo que inclui o ferro, e ele custa questão, porque o óxido de ferro não entra nas listas didáticas de anfótero. Berílio e cromo também formam óxido anfótero, mas praticamente não são cobrados nesse recorte.

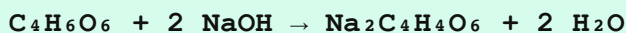
### 04 pH sem conta, e o teste de sanidade

Se a concentração de  $H^+$  é uma potência exata de dez, o pH é o próprio expoente. Quando houver mantissa, use o teste de sanidade. O pH de  $a \times 10^{-n}$  fica sempre entre  $n-1$  e  $n$ . Para  $[H^+]$  igual a  $2 \times 10^{-3}$ , o pH está entre 2 e 3. Se a sua conta deu 3,3, você errou o sinal em algum lugar.

**Quem hidrolisa é o fraco.  
Quem manda no pH é o forte.**

Desmonte o sal, ache o componente fraco, e o pH vai para o lado do outro

O ácido tartárico é o principal ácido do vinho e está diretamente relacionado com sua qualidade. Na avaliação de um vinho branco em produção, uma analista neutralizou uma alíquota de 25,0 mL do vinho com NaOH a 0,10 mol L<sup>-1</sup>, consumindo um volume igual a 8,0 mL dessa base. A reação para esse processo de titulação é representada pela equação química.



Ácido tartárico, massa molar 150 g/mol. O original traz as fórmulas estruturais.

A concentração de ácido tartárico no vinho analisado é mais próxima de

- (A) 1,8 g L<sup>-1</sup>
- (B) 2,4 g L<sup>-1</sup>
- (C) 3,6 g L<sup>-1</sup>
- (D) 4,8 g L<sup>-1</sup>
- (E) 9,6 g L<sup>-1</sup>

### Como resolver

- 01** Repare no coeficiente 2 do hidróxido de sódio. O ácido tartárico é **diprótico**, e esse fator vai decidir a questão.
- 02** Calcule a quantidade de base gasta.  
$$n = C \times V = 0,10 \text{ mol/L} \times 0,0080 \text{ L} = 8,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$$
- 03** Divida por 2 para chegar ao ácido, porque cada mol de ácido consome dois de base. O resultado é  $4,0 \times 10^{-4}$  mol de ácido tartárico.
- 04** Converta para massa multiplicando pela massa molar.  $4,0 \times 10^{-4} \text{ mol} \times 150 \text{ g/mol} = 0,060 \text{ g}$
- 05** Divida pelo volume da alíquota de vinho.  $0,060 \text{ g} \div 0,0250 \text{ L} = 2,4 \text{ g/L}$

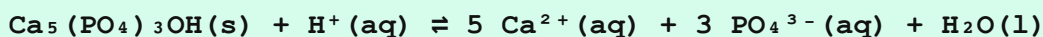
**B**

Resposta correta · **2,4 g/L** de ácido tartárico no vinho

### A ALTERNATIVA QUE ESTÁ LÁ ESPERANDO

Quem esquece o fator 2 do ácido diprótico chega a 4,8 g/L, que é exatamente a alternativa D. O único conceito de funções inorgânicas cobrado nesta questão é ler que o ácido tem dois hidrogênios ionizáveis. Todo o resto é estequiometria.

A hidroxiapatita,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ , é um mineral constituinte do esmalte dos dentes. Entre as diversas reações que ocorrem no meio bucal, encontram-se em equilíbrio as reações de desmineralização e mineralização da hidroxiapatita em meio aquoso. A desmineralização está associada à fragilização do esmalte do dente e à formação de cáries.



Da esquerda para a direita ocorre a desmineralização. No sentido inverso, a mineralização.

O uso de creme dental pode minimizar a perda da hidroxiapatita. O quadro apresenta o agente de polimento e o pH de alguns cremes dentais comerciais.

| CREME | AGENTE DE POLIMENTO  | PH   |
|-------|----------------------|------|
| I     | Bicarbonato de sódio | 9,5  |
| II    | Carbonato de cálcio  | 11,0 |
| III   | Citrato de potássio  | 7,7  |
| IV    | Dióxido de silício   | 6,9  |
| V     | Fosfato de cálcio    | 7,3  |

Considerando o equilíbrio químico envolvido, qual creme dental promove a maior desmineralização do esmalte do dente?

- (A) I
- (B) II
- (C) III
- (D) IV
- (E) V

### Como resolver

- Olhe de que lado da equação está o  $\text{H}^+$ . Ele é **reagente** da desmineralização, portanto mais  $\text{H}^+$  desloca o equilíbrio no sentido de desmineralizar.
- Traduza para pH. Mais  $\text{H}^+$  significa **pH menor**.
- Percorra a coluna de pH e ache o menor valor, que é 6,9, o único abaixo de 7.

**D**

Resposta correta · o creme **IV**, com pH 6,9

### O CAMINHO MAIS RÁPIDO

Esta questão não pede conta nenhuma. Ela pede saber que pH menor significa mais  $\text{H}^+$  e ler uma tabela. Repare que 6,9 é quase neutro. Não é preciso um ácido forte para desmineralizar o esmalte, um pH ligeiramente abaixo do neutro já desloca o equilíbrio, e é isso que torna o consumo frequente de bebidas ácidas um problema real para o dente.

## As quatro confusões que custam ponto

### Trocar ácido forte por ácido concentrado

Forte é grau de ionização e é propriedade da substância. Concentrado é quantidade por volume e é propriedade da solução. As quatro combinações existem, inclusive fraco e concentrado, que é o caso do ácido acético glacial. Um número resolve a discussão, nem o ácido clorídrico ioniza 100%, ele fica em torno de 92%.

### Trocar base forte por base solúvel

A prova gosta de cruzar os dois contraexemplos na mesma alternativa. O hidróxido de cálcio é pouco solúvel e forte. O hidróxido de amônio é muito solúvel e fraco. Ler um critério no lugar do outro entrega a questão.

### Confundir sal neutro com solução neutra

São dois critérios diferentes que carregam a mesma palavra. Sal neutro é classificação pela fórmula, quando não sobrou hidrogênio ionizável nem hidroxila. Solução neutra é pH igual a 7. O cianeto de sódio é sal neutro pela fórmula e dá solução **alcalina**. O bicarbonato de sódio é hidrogenossal pela fórmula e também dá solução **básica**.

### Achar que toda neutralização termina em pH 7

Falso por duas razões independentes. A primeira é estequiométrica, porque se sobrou  $H^+$  ou  $OH^-$  a neutralização foi parcial. A segunda é a que mais derruba, porque não depende de erro de conta. Mesmo com quantidades exatamente equivalentes, se um dos reagentes era fraco o sal formado hidrolisa. Ácido clorídrico com hidróxido de amônio em quantidades equivalentes produz solução **ácida**.

**Agora é com você****01****ENEM 2018**

O manejo adequado do solo possibilita a manutenção de sua fertilidade à medida que as trocas de nutrientes entre matéria orgânica, água, solo e o ar são mantidas para garantir a produção. Algumas espécies iônicas de alumínio são tóxicas, não só para a planta, mas para muitos organismos como as bactérias responsáveis pelas transformações no ciclo do nitrogênio. O alumínio danifica as membranas das células das raízes e restringe a expansão de suas paredes, com isso, a planta não cresce adequadamente. Para promover benefícios para a produção agrícola, é recomendada a remediação do solo utilizando calcário ( $\text{CaCO}_3$ ).

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. Porto Alegre: Bookman, 2013. Adaptado.

**Essa remediação promove no solo o(a)**

- (A) diminuição do pH, deixando-o fértil.
- (B) solubilização do alumínio, ocorrendo sua lixiviação pela chuva.
- (C) interação do íon cálcio com o íon alumínio, produzindo uma liga metálica.
- (D) reação do carbonato de cálcio com os íons alumínio, formando alumínio metálico.
- (E) aumento da sua alcalinidade, tornando os íons alumínio menos disponíveis.

**02****ENEM 2022**

Um grupo de alunos realizou um experimento para observar algumas propriedades dos ácidos, adicionando um pedaço de mármore ( $\text{CaCO}_3$ ) a uma solução aquosa de ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ), observando a liberação de um gás e o aumento da temperatura.

**O gás obtido no experimento é o**

- (A)  $\text{H}_2$
- (B)  $\text{O}_2$
- (C)  $\text{CO}_2$
- (D)  $\text{CO}$
- (E)  $\text{Cl}_2$

## Agora é com você

03

ENEM 2025

A dimetilamina é uma substância de elevada toxidez que entra em ebulição a 7 °C. Na madrugada de um dia frio, essa substância se espalhou por uma rodovia após um acidente de trânsito envolvendo um caminhão que transportava esse produto.

Para minimizar a agressão ao meio ambiente, bem como evitar a evaporação da dimetilamina com a elevação da temperatura ao longo do dia, um químico considerou o uso de algumas substâncias ou misturas como água, vinagre, óleo de soja, sal de cozinha e bicarbonato de sódio.

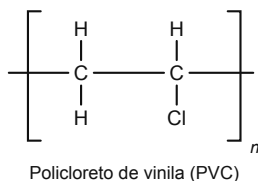
**Dentre as opções apresentadas, o tratamento correto para minimizar esse problema é usar**

- (A) água.
- (B) vinagre.
- (C) óleo de soja.
- (D) sal de cozinha.
- (E) bicarbonato de sódio.

04

ENEM 2020

Nos dias atuais, o amplo uso de objetos de plástico gera bastante lixo, que muitas vezes é eliminado pela população por meio da queima. Esse procedimento é prejudicial ao meio ambiente por lançar substâncias poluentes. Para constatar esse problema, um estudante analisou a decomposição térmica do policloreto de vinila (PVC), um tipo de plástico, cuja estrutura é representada na figura.



Para realizar esse experimento, o estudante colocou uma amostra de filme de PVC em um tubo de ensaio e o aqueceu, promovendo a decomposição térmica. Houve a liberação majoritária de um gás diatômico heteronuclear que foi recolhido em um recipiente acoplado ao tubo de ensaio. Esse gás, quando borbulhado em solução alcalina diluída contendo indicador ácido-base, alterou a cor da solução. Além disso, em contato com uma solução aquosa de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), liberou gás carbônico.

**Qual foi o gás liberado majoritariamente na decomposição térmica desse tipo de plástico?**

- (A)  $\text{H}_2$
- (B)  $\text{Cl}_2$
- (C) CO
- (D)  $\text{CO}_2$
- (E) HCl

# ESTEQUIOMETRIA

Dado um número no começo da reação, qual número eu preciso no fim.

## 7 de 7

questões de estequiometria levantadas na pesquisa deste material já entregou a equação balanceada e as massas molares.

### POR QUE CAI

A presença é praticamente garantida no caderno de Ciências da Natureza, quase sempre com contexto brasileiro nomeado. Mina de nióbio no Rio Grande do Norte, suinocultura no interior, síntese de remédio. Como o ENEM não anexa tabela periódica, decorar massa atômica é desperdício de memória. O aluno costuma dominar o conceito e ainda assim errar a conta, porque o erro típico aqui é **operacional**, não conceitual.

### O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ Mol e massa molar, e a relação  $n = m/M$  de cabeça
- ☐ Montar a proporção só com os coeficientes, e sempre em mol
- ☐ Pureza age na entrada, rendimento age na saída
- ☐ Reagente limitante em dez segundos
- ☐ As conversões que mais aparecem, com destaque para Celsius em Kelvin

### O QUE VOCÊ PRECISA SABER DE CABEÇA

$$n = m / M$$

$$N = n \times N_A$$

$$V = n \times V_m$$

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273$$

### NA PRÁTICA

A questão do nióbio de 2025 foi apontada como uma das mais trabalhosas do bloco de Química, e ela é construída inteira sobre um conceito só, o excesso de reagente declarado em porcentagem.

## Mol e massa molar

### O PRÉ-REQUISITO SILENCIOSO

Antes de qualquer conta, saiba distinguir **índice** de **coeficiente**. Em  $2\text{H}_2\text{SO}_4$ , o 2 da frente é coeficiente e indica quantidade. Os números pequenos ali embaixo são índices e indicam a identidade da substância. Coeficiente você ajusta ao balancear. Índice nunca se altera, porque mexer nele troca a substância inteira.

### Mol

Unidade de contagem, como uma dúzia, só que de  $6,02 \times 10^{23}$  entidades. A entidade precisa estar declarada, porque um mol de oxigênio atômico e um mol de gás oxigênio são coisas diferentes.

### Massa molar

Massa de um mol, em grama por mol, numericamente igual à massa molecular expressa em unidades de massa atômica. É essa igualdade numérica que resolve quase toda conversão do assunto.

### O mol traduz massa em número de partículas



A química reage por número de partículas. A balança mede massa.  
O mol traduz entre os dois.

### GUARDE ISTO

A química reage por número de partículas. A balança do laboratório mede massa. O mol é a régua que traduz entre os dois, e é por isso que praticamente toda questão do assunto passa por ele no meio do caminho.

## Balanceamento e proporção

### Lavoisier

A massa se conserva numa reação, e é por isso que a equação precisa estar balanceada.

### Proust

As proporções são definidas, e é por isso que vale montar regra de três.

### Gay-Lussac

Os volumes de gases se combinam em proporções simples, e é por isso que o coeficiente também serve de proporção entre gases nas mesmas condições.

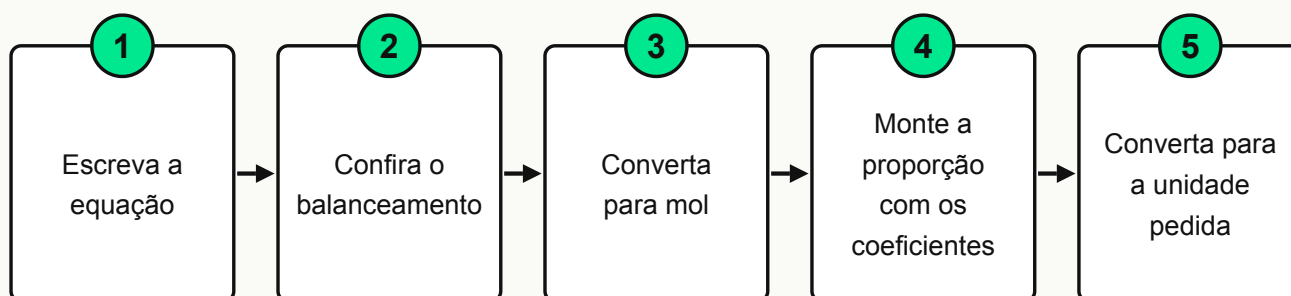
Para balancear no ENEM, tentativa direta basta. Comece pelo elemento que aparece em menos espécies e deixe hidrogênio e oxigênio por último. Na prática, quase sempre a equação já vem pronta e seu trabalho é conferir.

#### A REGRA QUE MAIS ECONOMIZA TEMPO

Os coeficientes valem como proporção **em mol**. Só em mol. Eles também valem em volume, mas apenas entre gases e apenas nas mesmas condições de pressão e temperatura. Nunca use coeficiente como proporção direta entre massas.

Sobre volume molar, os livros brasileiros trazem 22,4 L/mol nas condições normais. Mas o ENEM **fornece o valor que quer que você use** dentro do enunciado, e já usou 22 L/mol no ENEM 2024. Use sempre o número do enunciado.

### O procedimento de estequiometria



**O procedimento nunca muda. Muda só o cenário do enunciado.**

#### GUARDE ISTO

O procedimento nunca muda de uma questão para outra. Muda apenas o cenário do enunciado. Reconhecer isso é o que transforma estequiometria de assunto temido em assunto mecânico.

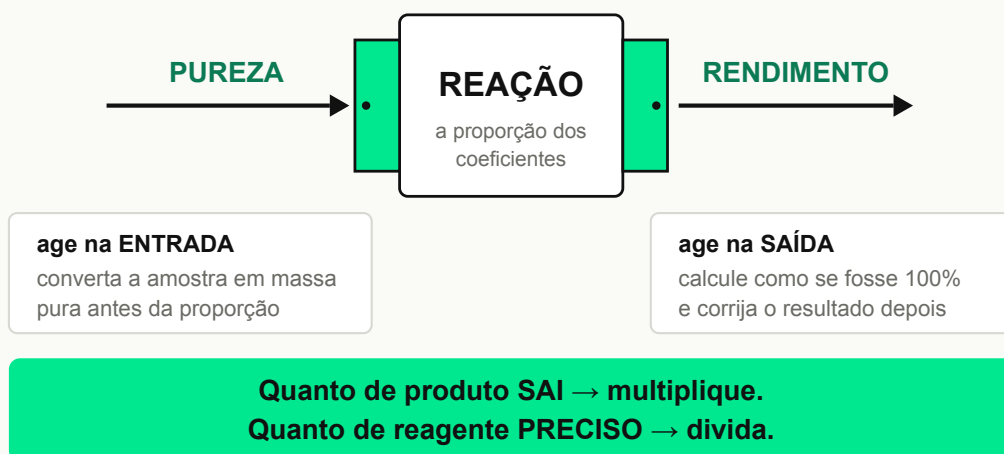
## Limitante, pureza e rendimento

**Reagente limitante.** Calcule a quantidade em mol de cada reagente, divida cada uma pelo seu coeficiente na equação e compare. O **menor quociente** aponta o limitante, que é quem acaba primeiro e portanto decide quanto de produto se forma.

### O FORMATO QUE O ENEM REALMENTE PREFERE

O limitante clássico, com duas massas e a pergunta sobre quem acaba primeiro, é o que os cursinhos mais treinam e o que a prova menos cobra. O ENEM prefere a versão contextualizada, em que o **excesso já vem declarado em porcentagem** e seu trabalho é aplicar essa correção no fim. Treine o conceito, mas dê mais atenção a esse formato.

### As duas portas do cálculo



**Pureza** age na entrada. Converta a amostra em massa pura antes de montar a proporção, lembrando que 10% de impureza significa 90% de pureza. **Rendimento** age na saída. Calcule primeiro como se a reação fosse perfeita e só depois aplique a correção. Em reações consecutivas, cancele o intermediário e monte a proporção global direto entre a primeira espécie citada e a última pedida, para não propagar arredondamento.

### GUARDE ISTO

Pureza é porta de entrada e rendimento é porta de saída. Se a pergunta é quanto de produto sai, multiplique pelo rendimento. Se a pergunta é quanto de reagente você precisa, divida por ele. Essa inversão é o distrator mais comum do assunto inteiro.

## O procedimento que evita o erro bobo

### 01 A ordem de ataque de uma questão longa

O aluno perde a questão no primeiro parágrafo, não na conta. Leia a última linha primeiro para saber o que se pede antes de encarar o contexto. Circule os números que vêm com unidade. Confira o balanceamento mesmo quando a equação vier pronta. Depois traduza tudo em uma frase do tipo de quem para quem, ignore o resto da equação e monte a proporção só com as duas espécies que interessam.

### 02 A coluna de unidade

Monte a regra de três com a unidade escrita em cima do número e mantenha a mesma grandeza na mesma coluna. A maioria dos erros de estequiometria morre nesse cuidado simples.

### 03 Limitante em dez segundos

Divida a quantidade em mol de cada reagente pelo respectivo coeficiente. O menor quociente aponta o limitante. Quando a questão pedir o que sobrou, monte a tabela de início, reage e final, lembrando que só a linha do meio respeita os coeficientes.

### 04 O teste do dado não usado

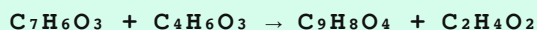
Quando as alternativas são números redondos, conte quantos dados o enunciado ofereceu e quantos você usou. Se sobrou dado sem uso, tem passo faltando no meio do caminho. O ENEM raramente oferece número de enfeite.

**Pureza é porta de entrada.**  
**Rendimento é porta de saída.**

Quanto de produto sai, multiplique. Quanto de reagente preciso, divida

## ENEM 2017

O ácido acetilsalicílico, AAS (massa molar igual a 180 g/mol), é sintetizado a partir da reação do ácido salicílico (massa molar igual a 138 g/mol) com anidrido acético, usando-se ácido sulfúrico como catalisador, conforme a equação química.



Ácido salicílico com anidrido acético produzindo ácido acetilsalicílico e ácido acético. O original traz as fórmulas estruturais.

Após a síntese, o AAS é purificado e o rendimento final é de aproximadamente 50%. Devido às suas propriedades farmacológicas (antitérmico, analgésico, anti-inflamatório e antitrombótico), o AAS é utilizado como medicamento na forma de comprimidos, nos quais se emprega tipicamente uma massa de 500 mg dessa substância.

Uma indústria farmacêutica pretende fabricar um lote de 900 mil comprimidos, de acordo com as especificações do texto. Qual é a massa de ácido salicílico, em kg, que deve ser empregada para esse fim?

- (A) 293
- (B) 345
- (C) 414
- (D) 690
- (E) 828

**Como resolver**

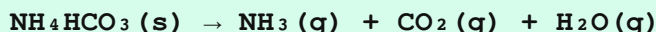
- 01** Ache a massa total de AAS do lote.  $900\,000 \times 500\text{ mg} = 450\,000\text{ g} = 450\text{ kg}$
- 02** Use a proporção de 1 para 1 entre ácido salicílico e AAS, e converta pela razão das massas molares.  $450\text{ kg} \times (138 \div 180) = 345\text{ kg}$
- 03** Aplique o rendimento. A pergunta é quanto de **matéria-prima** a indústria precisa, então divida por 0,50 em vez de multiplicar.  $345\text{ kg} \div 0,50 = 690\text{ kg}$

**D**Resposta correta · **690 kg** de ácido salicílico**A ALTERNATIVA QUE ESTÁ LÁ ESPERANDO**

A alternativa B, com 345 kg, é exatamente a massa estequiométrica sem a correção de rendimento. É o erro mais didático do assunto inteiro. Guarde a verificação de sanidade que resolve isso em segundos, se a fábrica só aproveita metade do que entra, ela precisa comprar **mais** matéria-prima, e não menos.

ENEM 2025

Apaixonada por culinária e química, uma chefe de cozinha calculou que, para promover o crescimento adequado da massa durante o cozimento de um bolo a 180 °C (453 K) e 1,00 atm, ela precisaria utilizar uma quantidade de fermento químico suficiente para produzir um volume de gás igual a 4,00 L. Com esse objetivo, ela escolheu utilizar o bicarbonato de amônio, um composto que, sob aquecimento, degrada-se em três gases distintos, que são os responsáveis pelo crescimento da massa. A decomposição do bicarbonato de amônio ocorre conforme a equação química apresentada e, nas condições do cozimento, seu rendimento é de 80%.



Considere que a mistura dos gases se comporta como gás ideal nas condições de cozimento utilizadas pela chefe. Dados, massa molar do  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  igual a 79 g/mol e R igual a 0,082 atm·L·mol<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>.

A massa, em grama, de bicarbonato de amônio que ela deve utilizar é mais próxima de

- (A) 2,3 g.
- (B) 3,5 g.
- (C) 5,9 g.
- (D) 6,8 g.
- (E) 8,9 g.

### Como resolver

- 01** Ache a quantidade total de gás por Clapeyron, com a temperatura em Kelvin, que o próprio enunciado já converteu.
- 02** Repare que **um mol de fermento produz três mols de gás**, porque a 180 °C a água também está gasosa. Divida por 3.
- 03** Aplique o rendimento dividindo por 0,80, porque a pergunta é quanto de fermento a chefe precisa usar.
- 04** Converta para massa multiplicando pela massa molar.

$$n = PV/RT = (1,00 \text{ atm} \times 4,00 \text{ L}) \div (0,082 \times 453 \text{ K}) = 0,108 \text{ mol de gás}$$

$$0,108 \div 3 = 0,036 \text{ mol} \rightarrow 0,036 \div 0,80 = 0,045 \text{ mol} \rightarrow 0,045 \text{ mol} \times 79 \text{ g/mol} = 3,5 \text{ g}$$

**B**Resposta correta · **3,5 g** de bicarbonato de amônio

### POR QUE ESTA QUESTÃO VALE POR TRÊS

Ela cruza estequiometria, gases ideais, conversão de temperatura, leitura de estado físico na equação e rendimento, tudo numa conta só. Quem ler a equação sem reparar que os três produtos são gasosos esquece de dividir por 3 e erra por um fator inteiro.

## As quatro confusões que custam ponto

### Aplicar o rendimento no sentido errado

Na questão do AAS, a alternativa com 345 kg é a massa sem correção nenhuma. Na do fermento, a alternativa com 2,3 g sai de multiplicar por 0,80 quando o certo era dividir. Os dois erros vêm do mesmo lugar, confundir a porta de entrada com a de saída.

### Esquecer o excesso declarado, ou aplicá-lo invertido

A questão do nióbio de 2025 é um mapa completo de erros. Uma alternativa traz a massa estequiométrica sem os 10% de excesso. Outra vem de dividir por 1,1 em vez de multiplicar. Uma terceira ignora os coeficientes da equação e usa proporção de 1 para 1. Cada alternativa errada corresponde a um passo pulado.

### Deixar a temperatura em Celsius na equação dos gases

Na questão do fermento, a alternativa com 8,9 g sai de usar 180 no lugar de 453. O enunciado até entrega a conversão entre parênteses, e mesmo assim o erro acontece, porque o aluno copia o primeiro número que vê.

### Errar a base do percentual

Ganho ou perda percentual se calcula **sempre** sobre a situação inicial. Na questão do antimônio, uma das alternativas vem de dividir pela massa final hidratada em vez da massa inicial anidra. É um erro de leitura, não de química.

**Agora é com você****01****ENEM 2023**

Existe no comércio um produto antimoho constituído por uma embalagem com tampa perfurada contendo cloreto de cálcio anidro,  $\text{CaCl}_2$ . Uma vez aberto o lacre, essa substância absorve a umidade ambiente, transformando-se em cloreto de cálcio di-hidratado,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

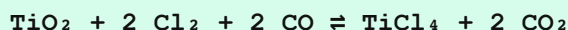
Considere a massa molar da água igual a  $18 \text{ g mol}^{-1}$ , e a massa molar do cloreto de cálcio anidro igual a  $111 \text{ g mol}^{-1}$ .

**Na hidratação da substância presente no antimoho, o ganho percentual, em massa, é mais próximo de**

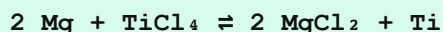
- ☐ A 14%
- ☐ B 16%
- ☐ C 24%
- ☐ D 32%
- ☐ E 75%

**02****ENEM 2024 · PPL**

O titânio é encontrado na natureza em minerais, dos quais o rutilo ( $\text{TiO}_2$ ) está presente na principal mina do Brasil, localizada no Rio Grande do Norte. Para obtenção do titânio metálico, o  $\text{TiO}_2$  é submetido a duas operações industriais. A primeira consiste na cloração, produzindo tetracloreto de titânio, conforme a equação.



A segunda operação consiste na redução do tetracloreto de titânio, utilizando magnésio metálico.



Considere as massas molares, Cl igual a  $35,5 \text{ g/mol}$  e Ti igual a  $48 \text{ g/mol}$ .

**Qual a massa de gás cloro necessária para produzir 480 kg de titânio metálico?**

- ☐ A 179 kg
- ☐ B 359 kg
- ☐ C 480 kg
- ☐ D 710 kg
- ☐ E 1 420 kg

**Agora é com você****03****ENEM 2024**

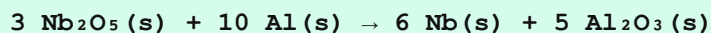
O biogás é uma alternativa energética muito importante, pois, além de reduzir a dependência por combustíveis fósseis, sua obtenção pode ser realizada a partir de resíduos da produção agroindustrial. Considere que o biogás produzido em um empreendimento de suinocultura contém 70% em volume de metano (massa molar 16 g/mol; volume molar 22 L/mol). Ele será utilizado para geração de energia em substituição ao etanol (massa molar 46 g/mol) em um gerador no qual 1 m<sup>3</sup> de biogás de origem suína substitui 0,59 L de etanol anidro (densidade 0,78 g/mL).

**Nessas condições, a massa de metano necessária para substituir 10 mol de etanol na produção de energia é mais próxima de**

- (A) 300 g.
- (B) 400 g.
- (C) 510 g.
- (D) 590 g.
- (E) 720 g.

**04****ENEM 2025**

O Brasil é o maior produtor mundial de nióbio (massa molar igual a 93 g mol<sup>-1</sup>), metal utilizado na fabricação de vários tipos de aço, entre eles automotivos, estruturais e inoxidáveis. O processo utilizado na produção do nióbio é a redução aluminotérmica de Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com excesso de 10% de Al (massa molar igual a 27 g mol<sup>-1</sup>), em relação à quantidade estequiométrica da reação, representada pela equação química.



Uma engenheira metalúrgica estimou a massa de alumínio necessária para produzir 9,3 kg de nióbio, nas condições descritas, para a produção de um lote de peças de aço encomendado por uma indústria, considerando um rendimento de 100%.

*Disponível em: [www.cbmm.com.br](http://www.cbmm.com.br). Acesso em: 17 out. 2015. Adaptado.*

**A massa de alumínio, em quilograma, estimada pela engenheira é mais próxima de**

- (A) 2,7 kg.
- (B) 3,0 kg.
- (C) 4,1 kg.
- (D) 4,5 kg.
- (E) 5,0 kg.

Gabarito comentado na página 79

# ELETROQUÍMICA

04

Quem perde elétron, quem ganha, e para que lado a reação decide ir sozinha.

**15 de 16**

anos verificados, de 2009 a 2025, trouxeram eletroquímica ou oxirredução, tipicamente de uma a três questões.

## POR QUE CAI

Quatro formatos se repetem. Uma tabela de potenciais com uma subtração, que é o formato rei. Identificação qualitativa de cátodo e ânodo dentro de um dispositivo. Corrosão e proteção. E eletrólise industrial com estequiometria de elétron. Vale saber também o que **nunca** apareceu, porque isso economiza semanas de estudo. Equação de Nernst não caiu, a relação entre energia livre e potencial não caiu, e a fórmula fechada de Faraday nunca precisou ser usada, porque a resolução oficial sempre monta por proporção.

## O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ Ânodo é oxidação e cátodo é redução, nos dois processos. Só o sinal muda
- ☐ Maior potencial de redução ganha elétron mais fácil
- ☐ Fila de descarga da eletrólise em meio aquoso
- ☐ Corrosão e proteção, com metal de sacrifício contra barreira inerte
- ☐ Leis de Faraday por proporção, e não por fórmula decorada

### AS DUAS CONTAS DO ASSUNTO

$$\Delta E^\circ = E^\circ(\text{cátodo}) - E^\circ(\text{ânodo})$$

$$Q = i \times t, \text{ com } t \text{ em segundos}$$

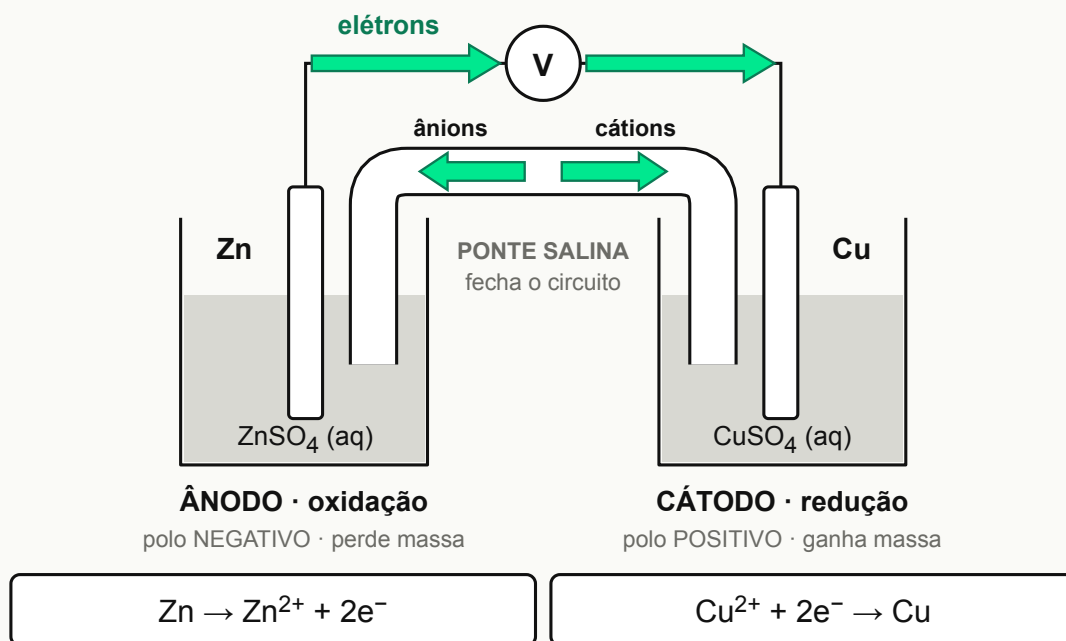
### NA PRÁTICA

Na questão da prata que escurece e depois é limpa, de 2025, três das cinco alternativas nasceram de um erro só, multiplicar o potencial padrão ao balancear a equação. O potencial não se multiplica nunca, e voltaremos a isso.

## Oxidação, redução e a pilha

**Oxidação** é perder elétron, e nela o número de oxidação aumenta. **Redução** é ganhar elétron, e nela o nox diminui. Existe uma armadilha de vocabulário logo na entrada do assunto, e o ENEM já a usou mais de uma vez. O **agente oxidante** é quem provoca a oxidação do outro, e para isso ele mesmo sofre **redução**.

### PILHA DE DANIELL



#### ÂNODO

Onde ocorre a oxidação. Na pilha é o polo **negativo**, e o eletrodo perde massa porque o metal se dissolve.

#### CÁTODO

Onde ocorre a redução. Na pilha é o polo **positivo**, e o eletrodo ganha massa porque o metal se deposita.

A **ponte salina** fecha o circuito iônico e mantém as duas soluções eletricamente neutras. Sem ela, a pilha polariza e para em segundos. Dentro da solução, cada íon migra para o eletrodo de nome parecido, o cátion vai para o cátodo e o ânion vai para o ânodo, o que é um jeito fácil de nunca mais trocar.

#### GUARDE ISTO

O elétron sempre sai do ânodo e caminha pelo fio externo até o cátodo. Essa regra não muda entre pilha e eletrólise, e é o fio condutor do capítulo inteiro. Quando você não souber por onde começar uma questão, comece perguntando quem está perdendo elétron.

## Potencial padrão e eletrólise

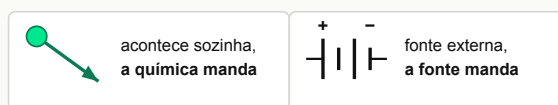
O **potencial padrão de redução** mede a tendência de uma espécie ganhar elétrons, em condições de referência, comparada ao eletrodo padrão de hidrogênio, que vale zero por convenção. Quanto mais positivo, mais fácil reduzir. Quanto mais negativo, mais fácil oxidar. Uma diferença de potencial positiva indica processo espontâneo.

### A PROPRIEDADE QUE A PROVA USA PARA DERRUBAR

O potencial padrão é uma grandeza **intensiva**. Multiplicar a semirreação por um coeficiente ao balancear **não** multiplica o valor de  $E^\circ$ . Inverter o sentido da semirreação, esse sim, inverte o sinal. E quando o enunciado fornecer um valor diferente do que você decorou, use o do enunciado.

### PILHA E ELETRÓLISE, LADO A LADO

|                 | PILHA (espontânea) | ELETRÓLISE (forçada) |           |
|-----------------|--------------------|----------------------|-----------|
| Ânodo           | oxidação           | oxidação             | IGUAL     |
| Cátodo          | redução            | redução              | IGUAL     |
| Sinal do ânodo  | NEGATIVO           | POSITIVO             | DIFERENTE |
| Sinal do cátodo | POSITIVO           | NEGATIVO             | DIFERENTE |



A reação nunca muda. O que muda é o sinal, e o sinal segue quem manda:  
**na pilha, a química. Na eletrólise, a fonte.**

Na **eletrólise**, uma fonte externa força um processo que não aconteceria sozinho. A reação em cada eletrodo continua igual, o ânodo oxida e o cátodo reduz, mas a polaridade inverte. Em meio aquoso, a água entra na disputa e às vezes ganha. No cátodo, alcalinos, alcalinoterrosos e alumínio não conseguem se reduzir, e sai hidrogênio no lugar deles. No ânodo, ânions oxigenados e fluoreto perdem para a água.

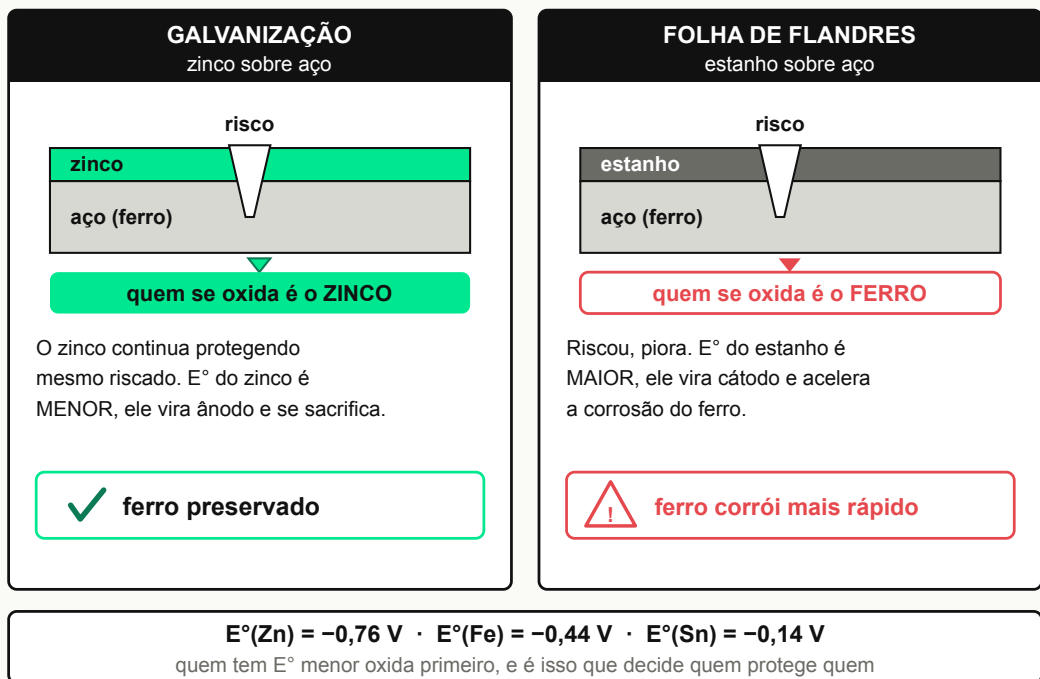
### GUARDE ISTO

Na pilha, quem define o sinal do eletrodo é a própria química, porque o ânodo acumula os elétrons que a oxidação liberou. Na eletrólise, quem define é a fonte externa, que empurra elétrons para dentro do cátodo. A reação nunca muda. O sinal segue quem manda.

## Corrosão, proteção e pilhas reais

A corrosão do ferro é uma pilha de curto-circuito montada dentro da própria peça. Regiões diferentes do metal funcionam como ânodo e cátodo, e o ferro se oxida justamente na região **menos** aerada ou mais tensionada, enquanto a parte mais exposta ao oxigênio vira cátodo. É por isso que a ferrugem começa no fundo da fresta e na dobra do prego, e não na face lisa. Todas as estratégias de proteção partem daí.

### REVESTIMENTO RISCADO, DOIS DESTINOS



| ESTRATÉGIA                           | COMO FUNCIONA                                    | SE A CAMADA ROMPER  |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------|
| Metal de sacrifício                  | liga-se metal de $E^\circ$ menor, que vira ânodo | continua protegendo |
| Galvanização, zinco sobre aço        | barreira física mais sacrifício                  | continua protegendo |
| Folha de flandres, estanho sobre aço | só barreira física                               | a corrosão piora    |
| Passivação                           | o próprio óxido forma camada aderente            | a camada se refaz   |
| Barreira inerte, tinta ou verniz     | isolamento, sem mecanismo eletroquímico          | expõe o metal       |

O contraste entre galvanização e folha de flandres é o melhor exemplo do assunto. O zinco tem potencial menor que o do ferro, então ele se oxida primeiro e continua defendendo a peça mesmo riscada. O estanho tem potencial maior, então quando a camada rompe ele vira cátodo e **acelera** a corrosão do ferro exposto. É por isso que uma lata de conserva amassada estraga mais rápido.

### GUARDE ISTO

Metal mais nobre sobre metal menos nobre acelera a corrosão assim que o revestimento rompe. Só protege de verdade o metal que for menos nobre que a peça, porque é ele que aceita se sacrificar no lugar dela.

## O sinal muda, a reação não

### 01 DONA PORCA, e o limite dele

Desgasta, Oxidação, Negativo, Ânodo. Positivo, Ocorre redução, Recebe elétrons, Cátodo, Acúmulo. Vale **só para pilha**. É na eletrólise que ele engana quem decorou sem entender, porque lá o ânodo é positivo.

### 02 O macete que sobrevive aos dois processos

A reação nunca muda, ânodo é sempre oxidação e cátodo é sempre redução. O que muda é o sinal, e o sinal segue quem manda. Na pilha quem manda é a química, porque o ânodo acumula elétrons e fica negativo. Na eletrólise quem manda é a tomada, porque o polo negativo da fonte empurra elétrons para dentro do cátodo.

### 03 Lendo a tabela de potenciais

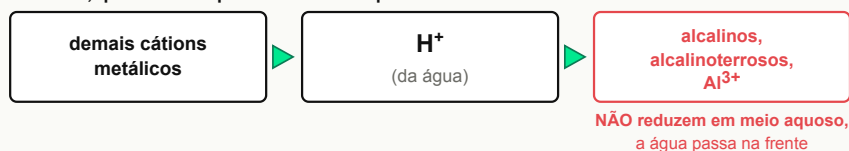
Maior manda, menor apanha. O potencial mais positivo é quem ganha elétron, portanto é o cátodo. A subtração é sempre maior menos menor, e o resultado precisa dar positivo num processo espontâneo. Se deu negativo, você inverteu a ordem.

### 04 Eletrólise aquosa e corrosão

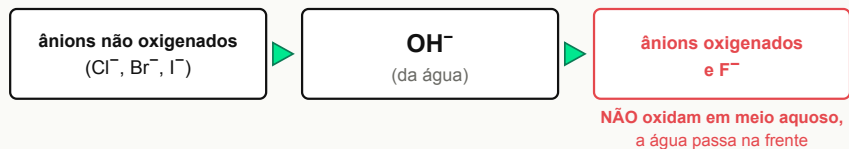
Na eletrólise, a água entra na fila e passa na frente de quem é fraco, como mostra o quadro abaixo. Na corrosão, o metal de sacrifício é sempre o mais negativo da dupla. Zinco se sacrifica pelo ferro, estanho não se sacrifica por ninguém.

#### FILA DE DESCARGA NA ELETRÓLISE EM MEIO AQUOSO

CÁTODO, quem REDUZ primeiro está à esquerda



ÂNODO, quem OXIDA primeiro está à esquerda



#### EXEMPLO RESOLVIDO

NaCl aquoso → H<sub>2</sub> no cátodo, Cl<sub>2</sub> no ânodo,  
NaOH na solução (processo cloro-álcali)

**O elétron sempre sai do ânodo.  
Isso não muda nunca.**

Na dúvida em qualquer questão do assunto, comece perguntando quem perde elétron

## ENEM 2025

Objetos de prata escurecem em contato com compostos contendo enxofre por causa da formação de uma fina camada de sulfeto de prata. Um método simples para clarear o objeto consiste em forrar um recipiente com papel alumínio, adicionar uma solução aquosa de cloreto de sódio e mergulhar o objeto enegrecido. Em cerca de três minutos, a prata volta à coloração original. As semirreações e os potenciais-padrão de redução ajudam a entender o processo.

| SEMIRREAÇÃO DE REDUÇÃO                                                                           | $E^\circ$        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| $\text{Ag}_2\text{S(s)} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Ag(s)} + \text{S}^{2-}(\text{aq})$      | $-0,69\text{ V}$ |
| $\text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O(l)}$ | $+1,23\text{ V}$ |
| $\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al(s)}$                               | $-1,68\text{ V}$ |

SARTORI, E. R.; BATISTA, E. F.; FATIBELLO-FILHO, O. Escurecimento e limpeza de objetos de prata. *Química Nova na Escola*, n. 30, 2008. Adaptado.

Os valores das diferenças de potencial-padrão das reações que representam o escurecimento e o clareamento do objeto de prata são, respectivamente:

- (A)  $+0,54\text{ V}$  e  $+2,37\text{ V}$ .
- (B)  $+1,92\text{ V}$  e  $+0,99\text{ V}$ .
- (C)  $-0,15\text{ V}$  e  $+5,43\text{ V}$ .
- (D)  $+2,61\text{ V}$  e  $+1,29\text{ V}$ .
- (E)  $+0,15\text{ V}$  e  $-1,29\text{ V}$ .

## Como resolver

- No **escurecimento**, a prata se oxida e o oxigênio do ar se reduz. Quem reduz é o cátodo, então o oxigênio é o cátodo e o par da prata é o ânodo. Aplique a subtração com as duas semirreações lidas como redução, do jeito que a tabela entrega.
- No **clareamento**, os papéis trocam. O sulfeto de prata reduz de volta a prata metálica, e o alumínio do papel se oxida.
- Confira o sinal. Os dois precisam dar positivo, porque os dois processos são espontâneos.

$$\begin{aligned} \text{escurecimento } \Delta E^\circ &= 1,23\text{ V} - (-0,69\text{ V}) = +1,92\text{ V} \\ \text{clareamento } \Delta E^\circ &= -0,69\text{ V} - (-1,68\text{ V}) = +0,99\text{ V} \end{aligned}$$

**B**Resposta correta ·  **$+1,92\text{ V}$  e  $+0,99\text{ V}$** 

## O ERRO QUE GEROU TRÊS ALTERNATIVAS

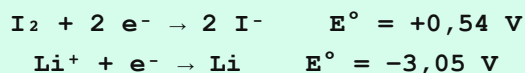
As alternativas C e D nascem de multiplicar o potencial pelo coeficiente de balanceamento, algo que nunca se faz. Igualar elétrons não altera o valor de  $E^\circ$ , porque ele é uma grandeza intensiva.

ENEM 2021

O quadro lista alguns dispositivos eletrônicos que estão presentes no dia a dia, bem como a faixa de força eletromotriz necessária ao seu funcionamento.

|     | DISPOSITIVO ELETRÔNICO      | FAIXA DE FORÇA ELETROMOTRIZ (V) |
|-----|-----------------------------|---------------------------------|
| I   | Relógio de parede           | 1,2 a 1,5                       |
| II  | Celular                     | 3,5 a 3,8                       |
| III | Câmera digital              | 7,5 a 7,8                       |
| IV  | Carrinho de controle remoto | 10,5 a 10,9                     |
| V   | Notebook ou laptop          | 19,5 a 20,0                     |

Considere que uma bateria é construída pela associação em série de três pilhas de lítio-iodo, nas condições-padrão, conforme as semiequações de redução apresentadas.



Essa bateria é adequada para o funcionamento de qual dispositivo eletrônico?

- (A) I
- (B) II
- (C) III
- (D) IV
- (E) V

### Como resolver

- 01** Calcule a diferença de potencial de **uma** célula. O iodo tem potencial maior, então ele é o cátodo e o lítio é o ânodo.
- 02** Multiplique pelas três pilhas, porque tensões em série somam, e compare com a tabela.

$$\begin{array}{lcl} \text{uma célula} & \Delta E^\circ = 0,54 \text{ V} - (-3,05 \text{ V}) = 3,59 \text{ V} \\ \text{três em série} & 3,59 \text{ V} \times 3 = & \mathbf{10,77 \text{ V}} \end{array}$$

**D**

Resposta correta · o **carrinho de controle remoto**, de 10,5 a 10,9 V

### TRÊS DOS QUATRO DISTRATORES SÃO ERROS DE PROCEDIMENTO

Parar em 3,59 V sem multiplicar pelas três pilhas leva ao item II. Subtrair os módulos e ignorar o sinal do lítio dá  $3,05 - 0,54 = 2,51 \text{ V}$ , que multiplicado por 3 chega a 7,53 V e cai no item III. A pilha de lítio-iodo, aliás, é a que alimenta marca-passo.

## As quatro confusões que custam ponto

### Inverter cátodo e ânodo entre pilha e eletrólise

Ânodo é oxidação nos dois processos, sempre. Quem decorou apenas o DONA PORCA responde que o ânodo é negativo também na eletrólise, e erra o sinal. Na eletrólise o ânodo é **positivo**, porque é a fonte externa que define a polaridade.

### Inverter a semirreação e esquecer de inverter o sinal

Sempre que uma semirreação de redução precisar ser lida como oxidação, o sinal do potencial inverte junto. Usar a fórmula da diferença de potencial com os dois valores lidos como redução evita esse erro por completo, porque a subtração já cuida da inversão.

### Multiplicar o potencial ao balancear

O potencial padrão é intensivo. Multiplicar a semirreação por dois ou por três para igualar elétrons **não** multiplica o valor de  $E^\circ$ . Em 2025, três das cinco alternativas de uma mesma questão nasceram exatamente desse erro.

### Oferecer o íon quando a questão precisa do metal

Numa questão de recuperação de metal, alumínio e zinco na forma de cátion parecem boas opções porque têm potencial baixo. Mas eles já estão oxidados e não têm elétron para doar. A pergunta que resolve é uma só, essa espécie está reduzida ou oxidada.

## Agora é com você

01

ENEM 2014

A revelação das chapas de raios X gera uma solução com íons prata na forma de  $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ . Para evitar a descarga desse metal no ambiente, a prata metálica pode ser recuperada tratando eletroquimicamente a solução com uma espécie adequada.

| SEMI-REACÇÃO DE REDUÇÃO                                                                                                                   | $E^\circ$ (V) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| $\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}(\text{s}) + 2 \text{S}_2\text{O}_3^{2-}(\text{aq})$ | +0,02         |
| $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$                                                                | +0,34         |
| $\text{Pt}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Pt}(\text{s})$                                                                | +1,20         |
| $\text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Al}(\text{s})$                                                                | -1,66         |
| $\text{Sn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Sn}(\text{s})$                                                                | -0,14         |
| $\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Zn}(\text{s})$                                                                | -0,76         |

BENDASSOLLI, J. A. et al. *Química Nova*, v. 26, n. 4, 2003. Adaptado.

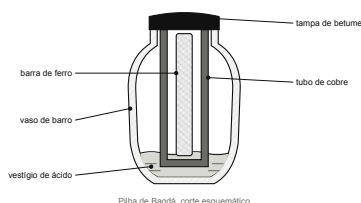
Das espécies apresentadas, a adequada para essa recuperação é

- (A)  $\text{Cu}(\text{s})$ .
- (B)  $\text{Pt}(\text{s})$ .
- (C)  $\text{Al}^{3+}(\text{aq})$ .
- (D)  $\text{Sn}(\text{s})$ .
- (E)  $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})$ .

02

ENEM 2018

Em 1938 o arqueólogo alemão Wilhelm König encontrou no Museu Nacional do Iraque um objeto que poderia ter sido usado como uma pilha. Datado de cerca de 200 a.C., ele é constituído de um pequeno vaso de barro no qual foram instalados um tubo de cobre, uma barra de ferro (aparentemente corroída por ácido) e uma tampa de betume, conforme ilustrado. Considere os potenciais-padrão de redução:  $E^\circ(\text{Fe}^{2+}|\text{Fe}) = -0,44 \text{ V}$ ;  $E^\circ(\text{H}^+|\text{H}_2) = 0,00 \text{ V}$ ; e  $E^\circ(\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}) = +0,34 \text{ V}$ .



Pilha de Bagdá, corte esquemático

Nessa suposta pilha, qual dos componentes atuaria como cátodo?

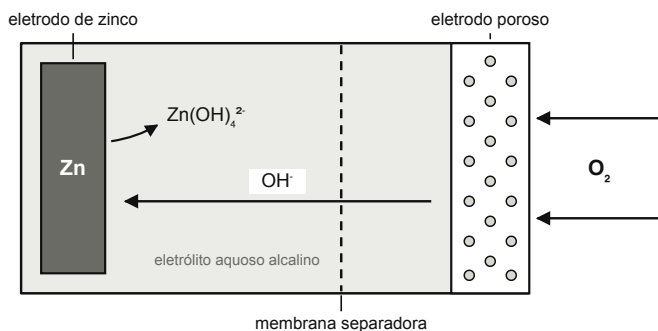
- (A) A tampa de betume.
- (B) O vestígio de ácido.
- (C) A barra de ferro.
- (D) O tubo de cobre.
- (E) O vaso de barro.

## Agora é com você

03

ENEM 2019

Grupos de pesquisa em todo o mundo vêm buscando soluções inovadoras para a geração de energia elétrica. Entre elas, destacam-se as baterias de zinco-ar, que combinam o oxigênio atmosférico e o metal zinco em um eletrólito aquoso de caráter alcalino. O esquema de funcionamento está apresentado na figura.



LI, Y.; DAI, H. *Chemical Society Reviews*, v. 43, n. 15, 2014. Adaptado.

No funcionamento da bateria, a espécie química formada no ânodo é

- (A)  $H_2(g)$ .
- (B)  $O_2(g)$ .
- (C)  $H_2O(l)$ .
- (D)  $OH^-(aq)$ .
- (E)  $Zn(OH)_4^{2-}(aq)$ .

04

ENEM 2010

A eletrólise é muito empregada na indústria com o objetivo de reaproveitar parte dos metais sucateados. O cobre é um dos metais com maior rendimento no processo, com recuperação de aproximadamente 99,9%. Por ser um metal de alto valor comercial, sua recuperação torna-se viável economicamente.

Suponha que, em um processo de recuperação de cobre puro, tenha-se eletrolisado uma solução de sulfato de cobre (II) ( $CuSO_4$ ) durante 3 h, empregando-se uma corrente elétrica de intensidade igual a 10 A.

Dados: Constante de Faraday  $F = 96\,500\text{ C/mol}$ ; Massa molar em g/mol:  $Cu = 63,5$ .

A massa de cobre puro recuperada é de aproximadamente

- (A) 0,02 g.
- (B) 0,04 g.
- (C) 2,40 g.
- (D) 35,5 g.
- (E) 71,0 g.

# QUÍMICA ORGÂNICA

05

Dado o desenho de uma molécula, que função ela tem e como ela se comporta.

14

questões de orgânica analisadas. Em nenhuma delas o aluno precisou construir um nome. O nome do composto sempre veio dado.

## POR QUE CAI

Orgânica está presente em todas as edições analisadas, de 2019 a 2025, com quatro moldes que se repetem. Reconhecer a função a partir da estrutura desenhada. Ligar uma propriedade física à estrutura. Identificar uma reação ou transformação. E aplicar isomeria a fármacos e materiais. O contexto é quase sempre aplicação, com fármaco, agrotóxico, produto natural, polímero, detergente ou petróleo.

## O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ A árvore de decisão de função, que resolve qualquer estrutura desenhada
- ☐ Quem doa e quem aceita ligação de hidrogênio, e o efeito disso em ebulição e solubilidade
- ☐ Isomeria geométrica e óptica, com o teste rápido de cada uma
- ☐ Oxidação de álcool, esterificação e saponificação
- ☐ Polímero de adição contra polímero de condensação

### A ORDEM QUE RESOLVE COMPARAÇÃO DE PONTO DE EBULIÇÃO

amida > ácido carboxílico > álcool > cetona > aldeído ≈ amina > éster > éter ≈ alcano

### ONDE ESTE ASSUNTO PARA

Você vai aprender a ler um nome no padrão IUPAC e mapeá-lo para a estrutura, porque é isso que a prova exige. Ficam de fora as regras de construção de nome, com numeração de cadeia principal e ordenação alfabética de ramificação. A única formação de nome ensinada aqui é a do éster, que foi a única que o ENEM já pediu.

## Carbono e cadeias

O carbono é **tetravalente**, forma ligações estáveis consigo mesmo e aceita ligações simples, duplas e triplas. Essa combinação é o que permite cadeias longas e ramificadas, e é a razão de existir uma química orgânica. A tabela periódica explica o porquê, porque o carbono tem raio pequeno e eletronegatividade intermediária, de 2,55.

### CLASSIFICAÇÃO DO CARBONO

Conte apenas os **carbonos vizinhos**, e não os hidrogênios. Um vizinho faz o carbono primário, dois fazem secundário, três fazem terciário e quatro fazem quaternário.

| EIXO DE CLASSIFICAÇÃO DA CADEIA          | AS DUAS OPÇÕES                  |
|------------------------------------------|---------------------------------|
| Existe anel?                             | fechada ou aberta               |
| Existe carbono terciário ou quaternário? | ramificada ou normal            |
| Existe dupla ou tripla entre carbonos?   | insaturada ou saturada          |
| Existe heteroátomo no meio da cadeia?    | <b>heterogênea ou homogênea</b> |

#### O EIXO QUE MAIS GERA ERRO

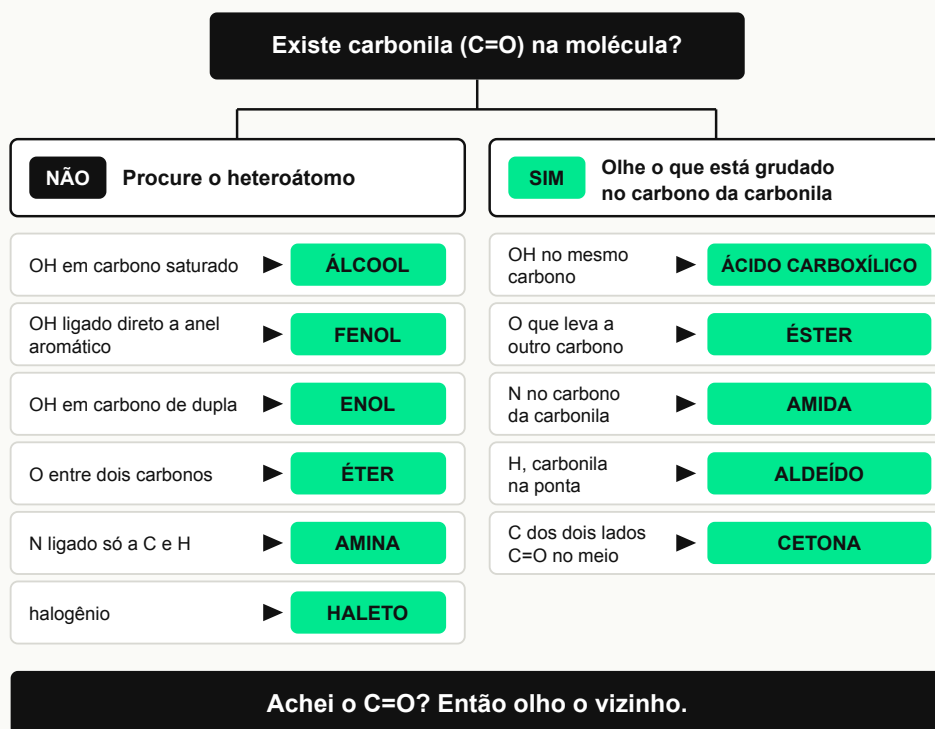
Para a cadeia ser heterogênea, o heteroátomo precisa estar **entre dois carbonos**. O oxigênio do álcool fica na ponta, ligado a um carbono só, então álcool tem cadeia **homogênea**. O oxigênio do éter fica no meio, então éter é **heterogênea**. É a mesma pergunta com respostas opostas.

Sobre **hibridização**, existe um atalho que dispensa contar orbital. Conte as ligações pi daquele carbono. Zero pi indica  $sp^3$  e geometria tetraédrica. Uma pi indica  $sp^2$  e geometria trigonal plana. Duas pi indicam  $sp$  e geometria linear.

#### GUARDE ISTO

A consequência de hibridização que mais importa em prova é geométrica. A ligação dupla não gira, e é essa rigidez que torna possível a isomeria geométrica. Fixe isso agora, porque vai reaparecer daqui a duas páginas.

## Funções orgânicas e leitura do nome IUPAC



A árvore acima é o macete central do capítulo. Comece sempre perguntando se existe carbonila. Se não existir, procure o heteroátomo. Se existir, olhe apenas o que está grudado no carbono dela, e a função sai em segundos.

### COMO LER UM NOME NO PADRÃO IUPAC

O nome se monta por três peças encaixadas. O **prefixo** diz quantos carbonos, o **infixo** diz o tipo de ligação e o **sufixo** diz a função.

Prefixos, met para 1, et para 2, prop para 3, but para 4. Do 5 em diante são os numerais gregos que você já conhece de geometria, pent, hex, hept, oct, non e dec. Infixos, an para só ligações simples, en para uma dupla e in para uma tripla. Sufixos, o para hidrocarboneto, ol para álcool, al para aldeído, ona para cetona e oico para ácido.

### A ÚNICA FORMAÇÃO DE NOME QUE O ENEM JÁ EXIGIU

A do éster. Pegue o nome do ácido, troque a terminação oico por ato, e acrescente o radical do álcool com terminação ila. O ácido etanoico reagindo com metanol forma **etanoato de metila**. A parte ato vem do ácido, a parte ila vem do álcool.

### GUARDE ISTO

O medo da nomenclatura é o que faz muita gente abandonar orgânica inteira, e esse medo é desproporcional. Você precisa reconhecer o que um nome significa quando ele aparecer no enunciado. Não precisa saber nomear uma molécula complexa do zero.

## Propriedades físicas e isomeria

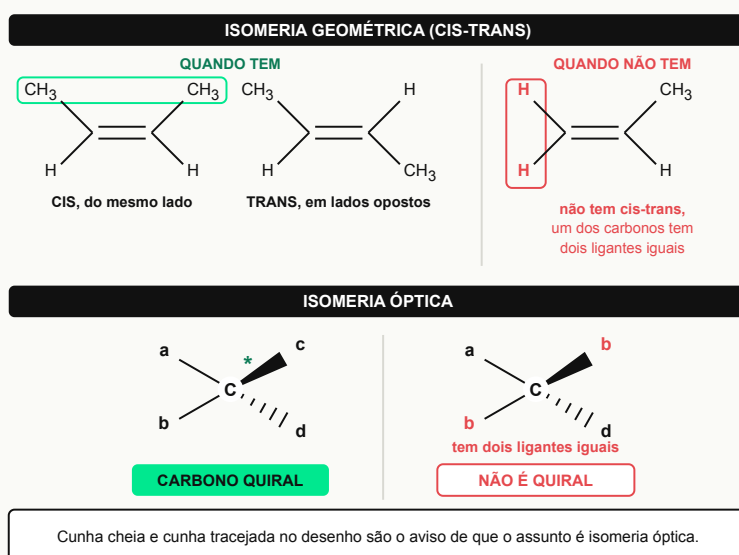
Para fazer ligação de hidrogênio **consigo mesma**, uma molécula precisa das duas coisas ao mesmo tempo. Doar exige hidrogênio preso a oxigênio ou nitrogênio, e aceitar exige par de elétrons livre nesses mesmos átomos.

| FUNÇÃO                       | DOA | ACEITA | CONSEQUÊNCIA                               |
|------------------------------|-----|--------|--------------------------------------------|
| Amida                        | sim | sim    | a ebulição mais alta de todas              |
| Ácido carboxílico            | sim | sim    | ebulição alta, mas fecha em dímero         |
| Álcool                       | sim | sim    | ebulição alta                              |
| Amina                        | sim | sim    | ebulição moderada, o N atrai menos que o O |
| Aldeído, cetona, éster, éter | não | sim    | ebulição baixa, mas solúvel em água        |
| Hidrocarboneto e haleto      | não | não    | ebulição baixa e insolúvel                 |

### A DISTINÇÃO QUE RESOLVE METADE DAS QUESTÕES DO ASSUNTO

Aldeído, cetona, éster e éter **só aceitam** ligação de hidrogênio, então não conseguem se prender uns aos outros e fervem cedo. E mesmo assim eles **dissolvem em água enquanto a cadeia for curta**, porque a água doa por eles. Não confunda não fazer ligação de hidrogênio entre si com não fazer com nada.

Para comparar ponto de ebulição, aplique três critérios nesta ordem e pare no primeiro que diferenciar. A força intermolecular decide sozinha na maioria dos casos. Se empatar, decide o tamanho da cadeia. Se empatar de novo, decide a ramificação. A ordem de acidez está no formulário, na página 75.



### GUARDE ISTO

Isomeria geométrica só existe quando **cada** carbono da dupla carrega dois ligantes diferentes entre si. Basta um deles ter dois ligantes iguais para não haver cis e trans.

## A árvore que resolve qualquer estrutura

### 01 Achei o C igual O? Então olho o vizinho

Hidroxila no mesmo carbono faz ácido carboxílico. Oxigênio que leva a outro carbono faz éster. Nitrogênio faz amida. Hidrogênio, ou seja, carbonila na ponta, faz aldeído. Carbono dos dois lados faz cetona. Se não houver carbonila nenhuma, procure o heteroátomo e identifique álcool, fenol, enol, éter, amina ou haleto.

### 02 Os quatro pares que confundem

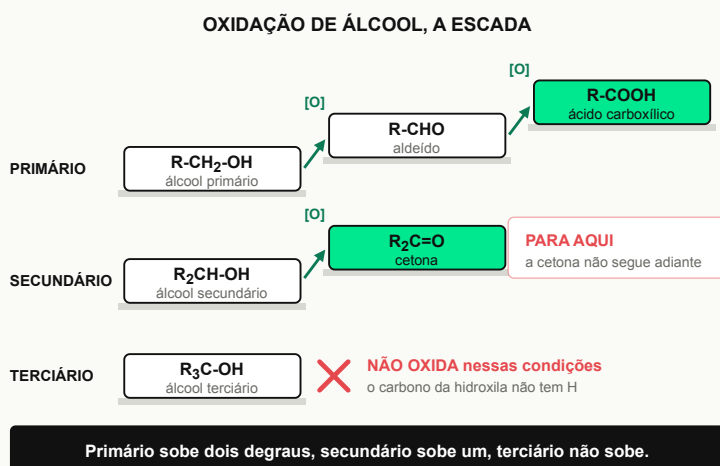
Álcool, fenol ou enol, olhe onde está o pé da hidroxila. Aldeído ou cetona, carbonila na ponta é aldeído e no meio é cetona. Éter ou éster, se você não vê carbonila, não é éster. Amina ou amida, amida tem o D de dupla colada no nitrogênio.

### 03 Comparar ponto de ebulição

"Amida e ácido no topo, álcool no meio, éter e alcano no chão." Se a força empatar, ganha quem tem mais carbono. Se o tamanho empatar, ganha quem é menos ramificado. Cadeia reta é bastão e gruda no vizinho, cadeia ramificada é bolinha e escorrega.

### 04 Carbono quiral em três passos

Descarte os carbonos com dupla ou tripla ligação e os que têm dois hidrogênios. Nos que sobraram, veja se os quatro ligantes são diferentes entre si. E fique atento ao aviso visual, porque quando a estrutura vem desenhada com cunha cheia e cunha tracejada a prova está sinalizando que o assunto é isomeria óptica.

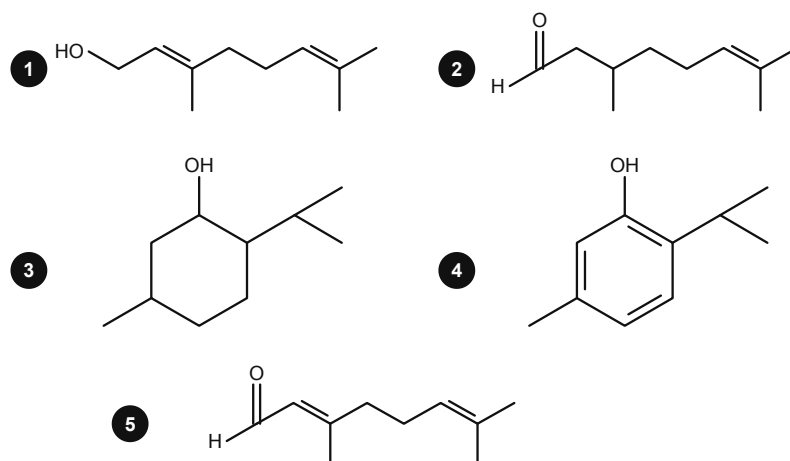


**Primário sobe dois degraus.  
Secundário sobe um.  
Terciário não sobe.**

Oxidação de álcool. Primário vira aldeído e depois ácido, secundário vira cetona e para

ENEM 2020

Um microempresário do ramo de cosméticos utiliza óleos essenciais e quer produzir um creme com fragrância de rosas. O principal componente do óleo de rosas tem cadeia poli-insaturada e hidroxila em carbono terminal. O catálogo dos óleos essenciais apresenta, para escolha da essência, estas estruturas químicas.



Qual substância o empresário deverá utilizar?

- (A) 1  
(B) 2  
(C) 3  
(D) 4  
(E) 5

### Como resolver

- 01 Filtro da hidroxila.** Descarte as estruturas 2 e 5, que terminam em grupo CHO. Isso é aldeído, e não álcool.
- 02 Filtro do carbono terminal.** Descarte a 3, cuja hidroxila está num carbono do meio do anel, e a 4, em que a hidroxila se liga direto ao anel aromático, o que caracteriza fenol.
- 03 Confirmação.** Sobrou a estrutura 1, que tem duas duplas ligações e portanto também satisfaz o pedido de cadeia poli-insaturada.

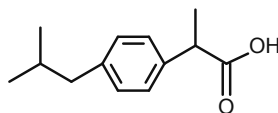
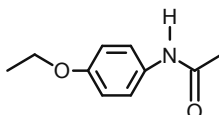
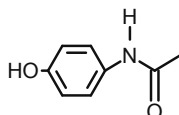
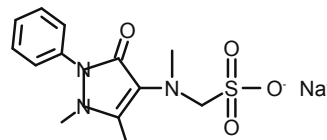
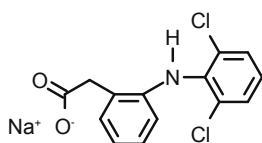
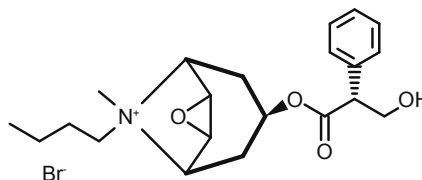
**A**Resposta correta · a **estrutura 1**, o geraniol

### POR QUE ESTA QUESTÃO VALE POR QUATRO

Numa passada só ela cobra a distinção entre álcool e aldeído, a distinção entre álcool e fenol, o significado de carbono terminal e a classificação entre saturada e insaturada. Repare que nenhum composto foi nomeado no enunciado. Você trabalhou apenas lendo desenho.

ENEM 2023

Entre os medicamentos mais comuns consumidos para o alívio da dor está o ibuprofeno, um composto quiral, comercializado como fármaco opticamente puro, ou seja, sem a mistura com outro isômero óptico. Destacam-se também os princípios ativos a seguir, presentes em outros medicamentos para o alívio da dor.

**IBUPROFENO****(A) Fenacetina****(B) Paracetamol****(C) Dipirona sódica****(D) Diclofenaco sódico****(E) Butilbrometo de escopolamina**

O princípio ativo que apresenta o mesmo tipo de isomeria espacial que o ibuprofeno é o(a)

- (A) fenacetina.
- (B) paracetamol.
- (C) dipirona sódica.
- (D) diclofenaco sódico.
- (E) butilbrometo de escopolamina.

**Como resolver**

- 01** O enunciado já entrega o tipo de isomeria. As palavras quiral e opticamente puro dizem que o assunto é **isomeria óptica**, então a pergunta vira apenas qual dos cinco tem carbono quiral.
- 02** Localize o carbono quiral do ibuprofeno para saber o que procurar. Ele carrega quatro ligantes diferentes entre si. Anel aromático, metila, carboxila e um hidrogênio.
- 03** Varra os candidatos descartando quem tem ligantes repetidos. Fenacetina, paracetamol e dipirona sódica só têm carbonos saturados com hidrogênios repetidos, e o diclofenaco sódico tem um carbono com dois hidrogênios iguais. Sobra o butilbrometo de escopolamina, que tem carbonos com quatro ligantes distintos.

**E**Resposta correta · **butilbrometo de escopolamina****O CAMINHO MAIS RÁPIDO**

Antes de analisar ligante por ligante, procure na figura quem está desenhado com cunha cheia e cunha tracejada. A prova usa esse recurso para representar estereoquímica, e aqui ele aponta direto para a resposta.

## As quatro confusões que custam ponto

### Ver hidroxila e escrever álcool por reflexo

Olhe sempre onde está o pé da hidroxila antes de responder. Em carbono saturado é álcool. Ligada diretamente a anel aromático é fenol. Em carbono de dupla é enol. A diferença tem consequência prática, porque fenol é ácido o bastante para reagir com hidróxido de sódio, e álcool não é.

### Confundir éter com éster

Ver oxigênio ligando dois carbonos e concluir éter sem checar se existe carbonila por perto. Éster tem carbonila, éter não tem. A consequência também é prática, porque éster sofre hidrólise e saponificação, enquanto éter é praticamente inerte.

### Comparar ponto de ebulição só pela massa molar

A pegadinha mais rentável do assunto. Etanol e metoximetano têm a mesma massa molar, 46 g/mol. O etanol ferve a 78 °C e o éter ferve a cerca de -24 °C, uma diferença de mais de 100 graus, porque só o etanol faz ligação de hidrogênio consigo mesmo. Massa só decide quando a força intermolecular é do mesmo tipo.

### Classificar polímero por decoreba de exemplo

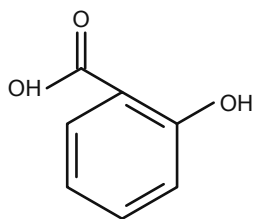
O critério é um só, saiu molécula pequena durante a formação? Se saiu água ou metanol, é condensação. O erro clássico é chamar o PET de polímero de adição por causa do anel aromático. Ele é poliéster de condensação, e é justamente por isso que a reciclagem química dele funciona, já que dá para despolimerizar de volta aos monômeros.

## Agora é com você

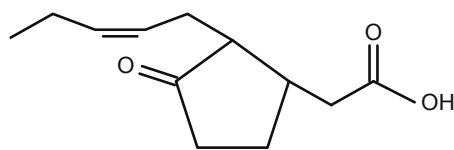
01

ENEM 2024

Os pesticidas naturais vêm sendo utilizados no controle de pragas e doenças agrícolas por serem menos nocivos ao ambiente e biodegradáveis. Os compostos 1 e 2 estão envolvidos nas respostas de defesa das plantas, e os grupos funcionais neles presentes são importantes para suas propriedades no controle de pragas.



Composto 1



Composto 2

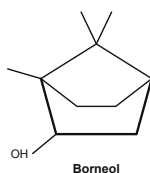
Qual é a função orgânica correspondente ao grupo funcional comum presente nesses dois compostos?

- (A) Ácido carboxílico
- (B) Cetona
- (C) Alceno
- (D) Álcool
- (E) Fenol

02

ENEM 2025

Em uma aula prática, um professor identificou os frascos de várias substâncias apenas por suas fórmulas moleculares. Apresentou então a representação tridimensional do borneol, um álcool secundário, conforme a figura, e explicou que, quando oxidado, ele dá origem à cânfora, uma cetona usada como incenso e no preparo de medicamentos. Em seguida pediu que os alunos identificassem o frasco contendo a cânfora.



Borneol

$C_{10}H_{18}O$   
álcool secundário

SANTOS, A. P. B. et al. *Química Nova*, n. 6, 2009. Adaptado.

O frasco contendo cânfora apresenta a fórmula molecular

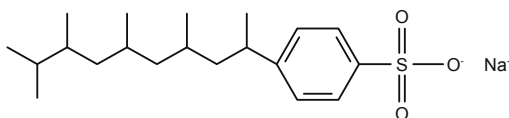
- (A)  $C_9H_{16}O$
- (B)  $C_9H_{17}O$
- (C)  $C_{10}H_{16}O$
- (D)  $C_{10}H_{16}O_2$
- (E)  $C_{10}H_{18}O_2$

## Agora é com você

03

ENEM 2023

O descarte de detergentes comuns nos esgotos domésticos forma uma camada de espuma que impede a entrada de oxigênio na água. Os microrganismos que vivem nessas águas não são capazes de quebrar moléculas ramificadas, o que gera desequilíbrio ambiental nos rios. A fórmula a seguir representa um tensoativo de detergente não biodegradável.



Tensoativo não biodegradável

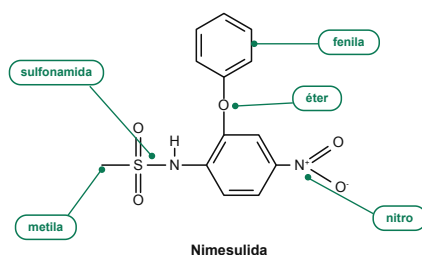
Qual modificação química na estrutura desse tensoativo o tornaria um detergente biodegradável?

- (A) Retirar a parte polar da molécula.
- (B) Eliminar as insaturações do anel aromático.
- (C) Trocar o grupo aniônico por um grupo neutro.
- (D) Alterar o grupo aniônico por um grupo catiônico.
- (E) Modificar a cadeia carbônica para cadeia normal.

04

ENEM 2024

A nimesulida é um fármaco pouco solúvel em água, utilizado como anti-inflamatório, analgésico e antitérmico. Ela pode ser convertida em uma espécie eletricamente carregada, de maior solubilidade em água, pelo tratamento com uma base de Brønsted-Lowry, isto é, uma espécie capaz de capturar um próton ( $H^+$ ). A figura apresenta os grupamentos presentes na estrutura da nimesulida.



Nimesulida

GONÇALVES, A. A. et al. Contextualizando reações ácido-base de acordo com a teoria protônica de Brønsted-Lowry. *Química Nova*, n. 3, 2013. Adaptado.

Na estrutura desse fármaco, o grupamento capaz de reagir com a base de Brønsted-Lowry é o grupo

- (A) sulfonamida.
- (B) metila.
- (C) fenila.
- (D) nitro.
- (E) éter.

# QUÍMICA AMBIENTAL

06

Como um texto sobre poluição embrulha uma pergunta de estequiometria, de função inorgânica ou de eletroquímica.

**5 a 8**

questões por edição carregam contexto ambiental, algo entre um terço e metade de toda a Química da prova.

## O ACHADO QUE MUDA COMO ESTUDAR ESTE ASSUNTO

No ENEM, química ambiental funciona como **contexto**, e não como bloco de conteúdo. A prova quase nunca pergunta o que é chuva ácida. Ela dá um texto sobre despejo de mercúrio e cobra reagente limitante. Em oito edições verificadas entre 2015 e 2025, a expressão efeito estufa não apareceu nenhuma vez, e chuva ácida apareceu quase sempre dentro de alternativas erradas. Estude o assunto para **decodificar o enunciado rápido** e chegar ao conteúdo que está escondido embaixo dele.

## O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

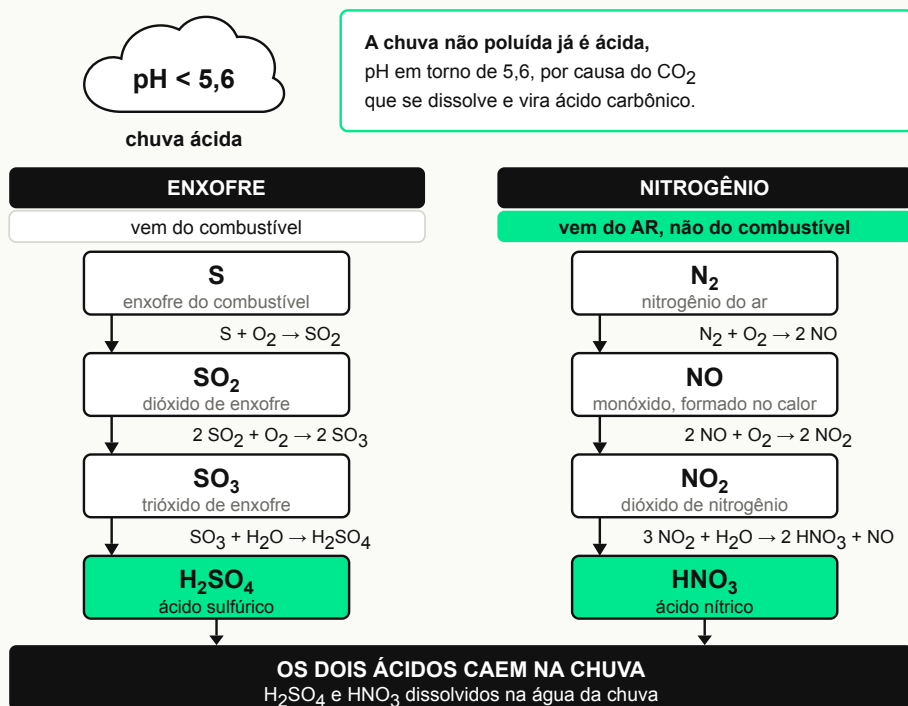
- ☐ Óxido de ametal com água dá ácido, óxido de metal com água dá base
- ☐ Gás estufa precisa ter dipolo que varia durante a vibração
- ☐ Poluente primário é emitido, secundário é formado no ar
- ☐ Oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio andam em sentidos opostos
- ☐ Combustão completa contra incompleta, e o que cada uma produz

## NA PRÁTICA

Em 2020 o ENEM usou uma questão inteira para desmontar a propaganda de emissão zero de um veículo elétrico, e cobrou a conta do  $\text{CO}_2$  realmente evitado. O enunciado escreveu a frase propagandeada e depois usou a própria questão para mostrar que ela não se sustenta.

## Atmosfera, do solo à estratosfera

Comece por um fato que derruba alternativa. A chuva não poluída **já é ácida**, com pH em torno de 5,6, porque o gás carbônico do ar se dissolve nela e forma ácido carbônico. Chuva ácida é a que fica abaixo desse valor, e não simplesmente a que tem pH menor que 7.



Os dois eixos da chuva ácida têm origens diferentes, e é aí que mora a pegadinha. O **enxofre** vem da impureza do combustível. O **nitrogênio** vem do próprio ar, do N<sub>2</sub> que só reage nas temperaturas altas da câmara de combustão. Quem acha que combustível limpo elimina os óxidos de nitrogênio não entendeu de onde eles saem.

### EFEITO ESTUFA

É natural e necessário, e o problema está na intensificação. Um gás só absorve infravermelho se o dipolo dele variar durante a vibração. Por isso **N<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> não são gases estufa**, mesmo somando 99% da atmosfera.

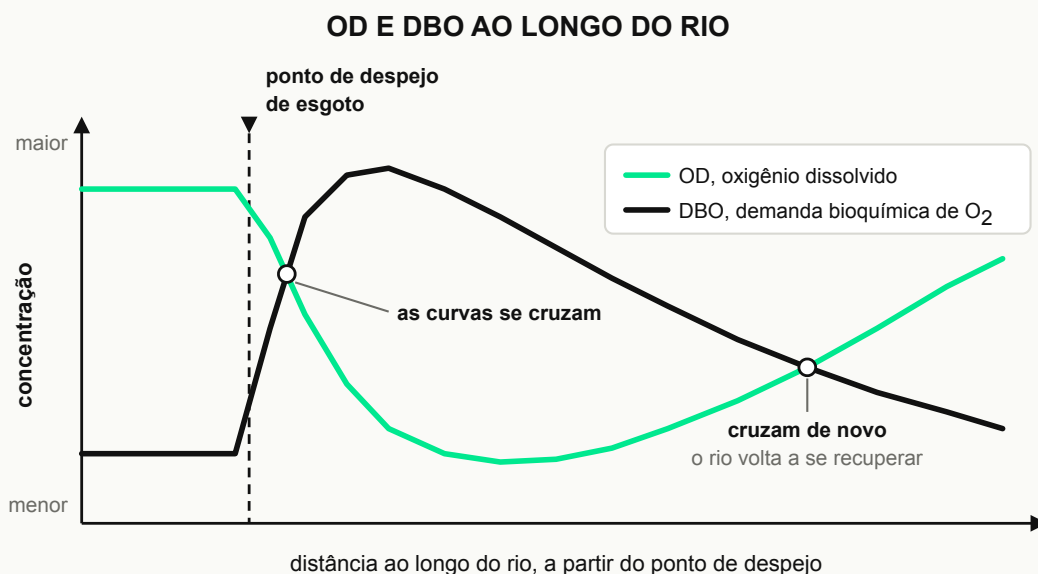
### CAMADA DE OZÔNIO

Fica na estratosfera, entre 20 e 35 km. Os CFC sobem intactos e só lá em cima a radiação ultravioleta quebra a ligação e libera cloro. Um átomo de cloro destrói milhares de moléculas de ozônio, porque o ciclo é **catalítico**.

### GUARDE ISTO

Efeito estufa e buraco na camada de ozônio são fenômenos independentes. Gases distintos, altitudes distintas e dois acordos internacionais que nunca se cruzaram. O buraco na camada não causa aquecimento global, e o gás carbônico não destrói a camada de ozônio.

## Água e qualidade do ar



**OD e DBO andam em sentidos opostos.**  
Achou a DBO máxima, achou o despejo.

O **oxigênio dissolvido** cai quando a temperatura sobe, porque gás dissolve menos em água quente. A **demanda bioquímica de oxigênio** mede quanto oxigênio os microrganismos consomem para degradar a matéria orgânica presente. As duas grandezas andam em sentidos opostos, e é isso que torna o gráfico acima tão fácil de ler. Onde a demanda é máxima, ali está o ponto de despejo.

### Eutrofização

Vem do excesso de nitrogênio e fósforo, que são **nutrientes**, e não venenos. O estrago não vem da toxicidade. Vem do crescimento descontrolado de algas, que consome o oxigênio dissolvido e sufoca o resto da vida aquática.

### Bioacumulação e biomagnificação

Bioacumulação é o organismo absorver mais rápido do que excreta. Biomagnificação é a concentração subir a cada degrau da cadeia alimentar. Juntas, explicam por que o mercúrio vira problema grave justamente nos peixes predadores.

### Poluente primário e secundário

Primário é emitido direto pela fonte. Secundário se forma na própria atmosfera. O **ozônio troposférico** é **sempre secundário**, porque nasce da reação entre óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis sob luz solar.

Sobre saúde, dois números merecem memória. O **monóxido de carbono** se liga ao ferro da hemoglobina com afinidade 200 a 250 vezes maior que a do oxigênio, e é por isso que ele mata em concentração baixa. E o **material particulado fino**, com diâmetro abaixo de 2,5 micrômetros, chega até os alvéolos, enquanto as partículas maiores ficam retidas nas vias superiores.

### GUARDE ISTO

Água quente segura menos gás dissolvido. Essa única frase explica poluição térmica de rio perto de usina, lago que perde peixe no verão e refrigerante que perde gás mais rápido quando esquentado.

## Resíduos, combustão e tratamento de água

| DESTINAÇÃO DE RESÍDUO | O QUE CARACTERIZA                                |
|-----------------------|--------------------------------------------------|
| Lixão                 | a céu aberto, sem controle nenhum                |
| Aterro controlado     | tem cobertura, mas não impermeabiliza o solo     |
| Aterro sanitário      | impermeabiliza, trata o chorume e drena o biogás |

Os três nomes não são sinônimos, e a prova já cobrou a diferença. Vale também separar dois adjetivos que costumam ser trocados. **Biodegradável não significa reciclável**. A vantagem de um material biodegradável está no tempo de degradação, e não na ausência de impacto.

### COMBUSTÃO COMPLETA

Produz gás carbônico e água, com liberação máxima de energia.

### COMBUSTÃO INCOMPLETA

Produz monóxido de carbono e depois fuligem, com **menor** liberação de energia. Falta de oxigênio é a causa.

O catalisador automotivo de três vias oxida o monóxido de carbono e os hidrocarbonetos, e reduz os óxidos de nitrogênio. Ele **não reduz** a emissão de gás carbônico, e alternativa que afirmar isso está errada.

### TRATAMENTO DE ÁGUA, CINCO ETAPAS



**A água tratada fica POTÁVEL, não fica pura.**

Continua sendo solução de sais dissolvidos.

### GUARDE ISTO

O tratamento deixa a água **potável**, e não pura. Ela continua sendo uma solução de sais dissolvidos, e a fluoretação inclusive adiciona soluto de propósito. Alternativa que diga que o tratamento produz água pura está errada por definição.

## A régua que decodifica qualquer texto ambiental

### 01 Óxido de ametal dá ácido, óxido de metal dá base

Esta única regra resolve chuva ácida, correção de solo com calagem e dessulfurização industrial, sem que você precise decorar uma equação nova para cada contexto. Ametal está à direita da tabela e forma óxido ácido. Metal está à esquerda e forma óxido básico.

### 02 O comando cabe numa linha, o texto não

Em toda questão ambiental analisada, o comando dizia qual conteúdo estava sendo cobrado, e o texto de duas colunas era só ambientação. Você já viu essa ordem de ataque em estequiometria. Aqui ela rende ainda mais, porque o contexto ambiental é o mais longo da prova inteira.

### 03 Três eliminações rápidas

Se a alternativa apontar nitrogênio ou oxigênio como gás estufa, elimine. Se disser que ozônio troposférico foi emitido por alguma fonte, elimine, porque ele é sempre secundário. Se disser que a inversão térmica emite poluente, elimine, porque ela apenas impede a dispersão do que já estava lá.

### 04 Desconfie do absolutismo

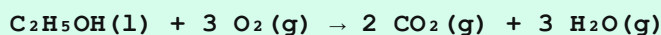
Emissão zero, elimina completamente, não causa nenhum impacto. Termos absolutos em alternativa sobre meio ambiente quase sempre marcam a opção errada. A prova de 2020 chegou a escrever a expressão emissão zero no enunciado justamente para desmontá-la com números.

**Achou a demanda máxima,  
achou o ponto de despejo.**

Oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio andam sempre em sentidos opostos

## ENEM 2020

O crescimento da frota de veículos em circulação no mundo tem levado à busca e desenvolvimento de tecnologias que permitam minimizar emissões de poluentes atmosféricos. O uso de veículos elétricos é uma das propostas mais propagandeadas por serem de emissão zero. Podemos comparar a emissão de carbono na forma de  $\text{CO}_2$  (massa molar igual a  $44 \text{ g mol}^{-1}$ ) para os dois tipos de carros (a combustão e elétrico). Considere que os carros a combustão, movidos a etanol (massa molar igual a  $46 \text{ g mol}^{-1}$ ), emitem uma média de 2,6 mol de  $\text{CO}_2$  por quilômetro rodado, e os elétricos emitem o equivalente a 0,45 mol de  $\text{CO}_2$  por quilômetro rodado (considerando as emissões na geração e transmissão da eletricidade). A reação de combustão do etanol pode ser representada pela equação química.



Foram analisadas as emissões de  $\text{CO}_2$  envolvidas em dois veículos, um movido a etanol e outro elétrico, em um mesmo trajeto de 1 000 km.

**A quantidade equivalente de etanol economizada, em quilograma, com o uso do veículo elétrico nesse trajeto, é mais próxima de**

- (A) 50.
- (B) 60.
- (C) 95.
- (D) 99.
- (E) 120.

### Como resolver

- 01** Ache o  $\text{CO}_2$  **evitado** por quilômetro, subtraindo a emissão do elétrico da do carro a etanol. Não use os 2,6 mol sozinhos, porque o elétrico também emite.
- 02** Multiplique pelo trajeto de 1 000 km.
- 03** Volte para etanol pela proporção da equação, que mostra **1 mol de etanol para 2 mols de  $\text{CO}_2$** , e converta para massa pela massa molar.

$$(2,6 - 0,45) \times 1\,000 = 2\,150 \text{ mol de } \text{CO}_2 \text{ evitados}$$

$$2\,150 \div 2 = 1\,075 \text{ mol de etanol} \rightarrow 1\,075 \text{ mol} \times 46 \text{ g/mol} = 49\,450 \text{ g} \approx$$

**50 kg**

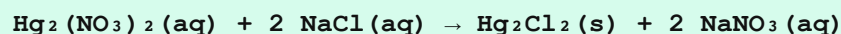
**A**

Resposta correta · cerca de **50 kg** de etanol economizados

### OS DOIS ERROS PREVISÍVEIS ESTÃO NAS ALTERNATIVAS

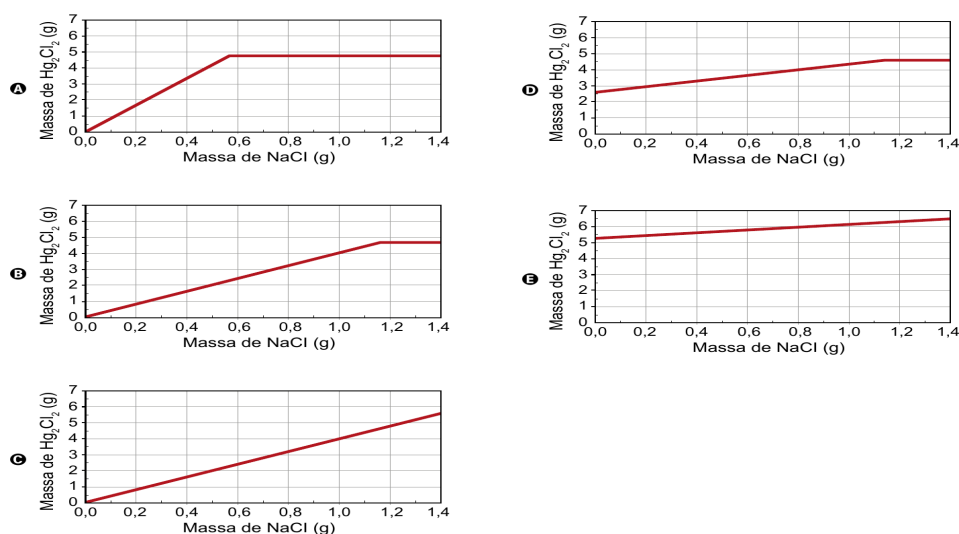
Quem esquece de subtrair a emissão do elétrico chega perto de 60 kg, a alternativa B. Quem ignora a proporção de 1 para 2 entre etanol e gás carbônico chega perto de 99 kg, a alternativa D. Os dois distratores estão ali para pegar quem pulou um passo.

Um assistente de laboratório precisou descartar sete frascos de solução de nitrato de mercúrio(I). Cada frasco continha 5,25 g de  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$  dissolvidos em água. Sabendo que o  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  tem solubilidade muito baixa, ele optou por retirar o mercúrio por precipitação com cloreto de sódio, conforme a equação química.



O assistente aumentou a massa de NaCl adicionada em cada frasco, de 0,2 g no frasco I até 1,4 g no frasco VII, em intervalos de 0,2 g. O produto foi filtrado, secado e pesado. Massas molares:  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$  525 g mol<sup>-1</sup>, NaCl 58 g mol<sup>-1</sup>,  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  472 g mol<sup>-1</sup>.

Qual foi o gráfico obtido pelo assistente de laboratório?



enem2023

CN · 2º DIA · CADERNO 5 · AMARELO

13

## Como resolver

- 01** A quantidade de mercúrio é **fixa** nos sete frascos,  $5,25 \div 525 = 0,0100$  mol. Pela proporção de 1 para 2, consumir tudo exige 0,0200 mol de NaCl, ou 1,16 g.
- 02** **Abaixo de 1,16 g** o cloreto é o limitante e a curva sobe em linha reta. **Acima disso** o mercúrio vira o limitante e a curva vira patamar, em  $0,0100 \times 472 = 4,72$  g.

**B**

Resposta correta · reta crescente até cerca de 1,16 g, depois **patamar em 4,72 g**

## POR QUE ESTA É A QUESTÃO MAIS REPRESENTATIVA DO ASSUNTO

Ela cruza descarte de metal pesado, reagente limitante e leitura de gráfico numa resolução só. É o retrato de como a química ambiental aparece no ENEM, embrulhando um conteúdo que vem de outro capítulo.

## As quatro confusões que custam ponto

### Misturar efeito estufa com camada de ozônio

A teoria deste assunto já separou os dois. O que a prova acrescenta é uma pegadinha mais fina. Os CFC **são** gases estufa potentes, e mesmo assim não foi por isso que eles foram banidos. Alternativa que use o efeito estufa para explicar o Protocolo de Montreal está errada.

### Trocar monóxido de carbono por gás carbônico

O monóxido de carbono é o veneno agudo e indica combustão **incompleta**. O gás carbônico é o problema climático e é produto da combustão **completa**. Numa questão de 2024, quatro das cinco alternativas combinavam os dois em pares diferentes, e só uma acertava qual era qual.

### Chamar ozônio troposférico de poluente primário

Ozônio na superfície é sempre secundário. Ninguém emite ozônio pelo escapamento. Ele se forma no ar, a partir de óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis sob luz solar. A mesma molécula é benéfica lá em cima e poluente aqui embaixo.

### Tratar o etanol como combustível de emissão zero

O etanol também emite gás carbônico na combustão. O que muda é o **balanço**, porque o carbono liberado tinha sido fixado antes pela fotossíntese da cana. A emissão líquida é bem menor que a do combustível fóssil, mas não é zero, e nenhuma etapa da cadeia produtiva é neutra.

## Agora é com você

## 01 ENEM 2024

A bauxita contém alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), matéria-prima do alumínio (Al). São necessários 50 kg de bauxita para produzir 10 kg de alumínio. Em 2020 o Brasil reciclou 97,4% de um total de  $4,0 \times 10^5$  toneladas de latas vendidas. Considere a lata como alumínio puro.

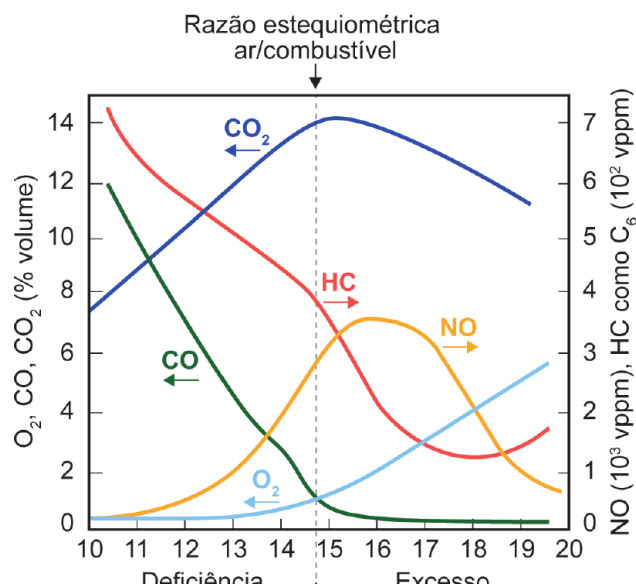
Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br>. Acesso em: 30 nov. 2021. Adaptado.

Levando em conta apenas a reciclagem de latas, qual é o valor mais próximo da massa de bauxita, em tonelada, que deixou de ser extraída da natureza em 2020 no Brasil?

- (A)  $1,0 \times 10^4$  ton
- (B)  $3,9 \times 10^5$  ton
- (C)  $5,0 \times 10^5$  ton
- (D)  $1,9 \times 10^6$  ton
- (E)  $2,0 \times 10^7$  ton

## 02 ENEM 2024

As condições de operação de um motor a combustão, como a razão da mistura ar/combustível no cilindro, influenciam na composição dos gases lançados pelo escapamento. O gráfico ilustra essa variação para um motor a gasolina.



RANGEL, M. C.; CARVALHO, M. F. A. Impacto dos catalisadores automotivos no controle da qualidade do ar. Química Nova, v. 26, 2003. Adaptado.

Na condição de razão ar/combustível igual a 18, haverá uma emissão

- (A) baixa de O<sub>2</sub> e alta de NO.
- (B) baixa de NO e alta de HC.
- (C) baixa de CO e alta de CO<sub>2</sub>.
- (D) baixa de HC e alta de CO.
- (E) baixa de CO<sub>2</sub> e alta de HC.

## Agora é com você

03

ENEM 2023

Parte do lixo urbano acaba sendo incinerado, liberando substâncias tóxicas para o ambiente e causando acidentes por explosões, principalmente quando ocorre a incineração de frascos de aerossóis, como desodorantes, inseticidas e repelentes. A temperatura elevada provoca a vaporização de todo o conteúdo dentro do frasco, aumentando a pressão em seu interior até culminar na explosão da embalagem.

ZVEIBIL, V. Z. et al. Cartilha de limpeza urbana. Disponível em: [www.ibam.org.br](http://www.ibam.org.br). Acesso em: 6 jul. 2015. Adaptado.

Suponha um frasco metálico de aerossol com capacidade de 100 mL, contendo 0,1 mol de produtos gasosos a 650 °C no momento da explosão. Considere  $R = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .

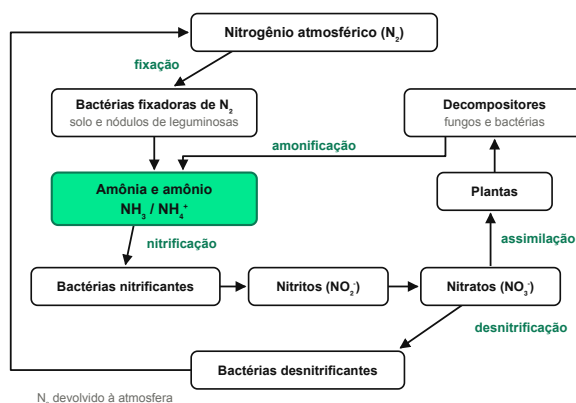
A pressão, em atm, dentro do frasco, no momento da explosão, é mais próxima de

- (A) 756.
- (B) 533.
- (C) 76.
- (D) 53.
- (E) 13.

04

ENEM 2022

O esquema representa o ciclo do nitrogênio.



A chuva ácida interfere no ciclo do nitrogênio, principalmente, por diminuir o pH do solo e da atmosfera, alterando a concentração dos compostos presentes nesse ciclo.

Disponível em: <http://scienceprojectideasforkids.com>. Acesso em: 6 ago. 2012. Adaptado.

Em um solo de menor pH, será favorecida a formação de

- (A)  $\text{N}_2$
- (B)  $\text{NH}_3$
- (C)  $\text{NH}_4^+$
- (D)  $\text{NO}_2^-$
- (E)  $\text{NO}_3^-$

# RADIOATIVIDADE

O que um núcleo instável emite, e como prever em que ele se transforma depois de emitir.

## 2

números resolvem qualquer equação nuclear, o número de massa e o número atômico. Se a soma dos dois fecha nos dois lados, a alternativa se sustenta.

### POR QUE CAI

Radioatividade quase nunca aparece pelo nome. Ela chega embrulhada em usina nuclear, rejeito radioativo, datação de fóssil, exame de medicina nuclear e acidente com fonte radioativa. A pergunta, por baixo do texto, costuma ser uma de três. Qual núcleo se forma depois da emissão, quanto do material ainda resta depois de um tempo dado, ou qual radiação atravessa determinada blindagem. As três se respondem sem calculadora.

### O QUE ESTUDAR PRIMEIRO

- ☐ A conservação de A e de Z, que fecha qualquer equação nuclear
- ☐ O que cada emissão tira ou põe no núcleo, alfa, beta negativa, beta positiva e gama
- ☐ Meia-vida contada em pulos, para achar a fração que resta
- ☐ Poder de penetração e poder de ionização, que crescem em sentidos opostos
- ☐ Fissão e fusão, e onde cada uma aparece na geração de energia

#### AS CONTAS DO ASSUNTO

**A total antes = A total depois**

**Z total antes = Z total depois**

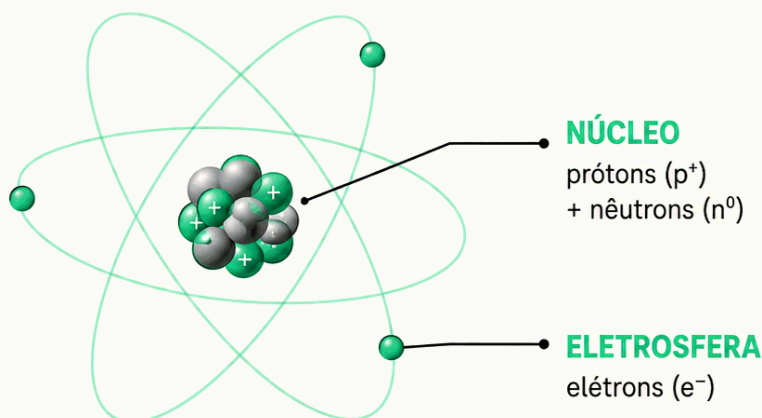
$$N = N_0 \cdot (1/2)^{(t / T)}$$

#### NA PRÁTICA

Você já encontrou radioatividade nesta apostila. A questão da areia monazítica, na página 13, pede a equação de emissão alfa do tório-232 e o número de nêutrons do núcleo formado. Volte nela depois de ler estas páginas e compare com o que você tentou na primeira vez.

## O núcleo, e o que o deixa instável

Toda a Química que você viu até aqui acontece na **eletrosfera**. Ligação, oxidação, acidez, solubilidade, tudo é elétron mudando de lugar. Radioatividade muda de andar e vai para o **núcleo**, onde moram os prótons e os nêutrons. É por isso que uma reação nuclear transforma um elemento em outro, coisa que reação química nenhuma faz.



### Número atômico, Z

Conta os **prótons**. É ele que diz qual é o elemento, e mudar Z significa virar outro elemento.

### Número de massa, A

Soma **prótons e nêutrons**. É contagem de partículas do núcleo, sempre um número inteiro, e não massa medida em grama.

### Isótopos

Mesmo Z e A diferente, portanto mesmo elemento com número diferente de nêutrons. O carbono-12 e o carbono-14 têm a mesma química e destinos nucleares opostos, porque o 14 é instável.

O que decide a estabilidade é a **proporção entre nêutrons e prótons**. Núcleos leves param estáveis com essa proporção perto de 1 para 1, e quanto mais pesado o núcleo, mais nêutrons ele precisa para segurar a repulsão entre os prótons. Fora da faixa, o núcleo emite e caminha para uma composição mais estável. A partir do bismuto, de Z igual a 83, não existe isótopo estável.

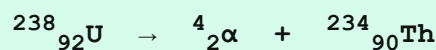
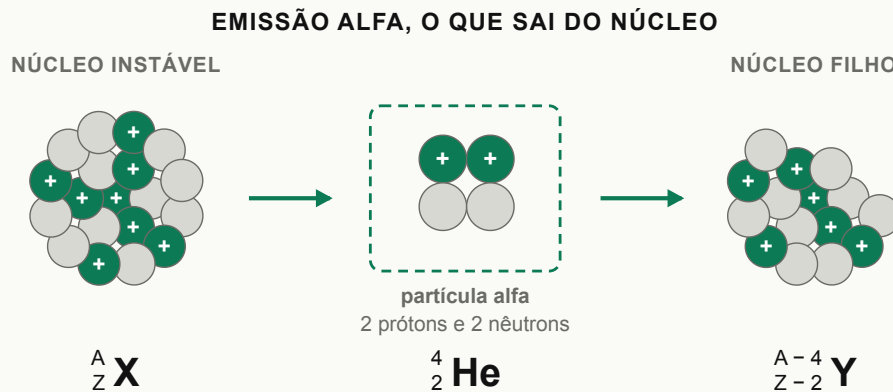


### GUARDE ISTO

Radioatividade acontece no núcleo, e não na eletrosfera. Quem manda na estabilidade é a proporção entre nêutrons e prótons, e a emissão existe para corrigir essa proporção.

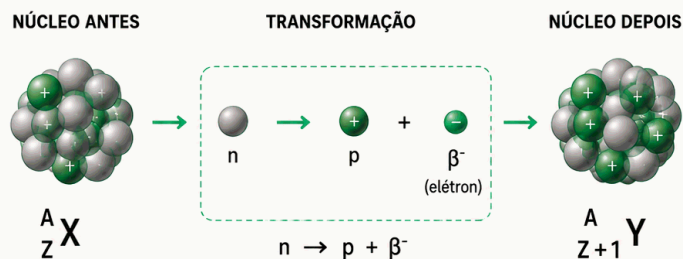
## Alfa e beta, as emissões que trocam o elemento

A emissão **alfa** sai de núcleo pesado. O que escapa é um aglomerado de dois prótons e dois nêutrons, que é um núcleo de hélio. O núcleo perde 4 no número de massa e 2 no número atômico, e por isso vira outro elemento, duas casas atrás na tabela.



Confira a conta nos dois lados. Em massa,  $238 = 4 + 234$ . Em número atômico,  $92 = 2 + 90$ .

Na emissão **beta negativa**, um nêutron do próprio núcleo se converte em próton e joga para fora um elétron. O número de massa fica igual, porque saiu um nêutron e entrou um próton no lugar, e o número atômico sobe 1. O elétron emitido é produzido dentro do núcleo, na hora da conversão.



Existe também a **beta positiva**, em que um próton se converte em nêutron e sai um pósitron, o gêmeo de carga oposta do elétron. Nela o número de massa também fica igual, e o número atômico desce 1.

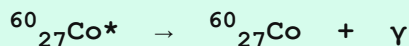
| EMIÇÃO                   | O QUE SAI              | NÚMERO DE MASSA, A | NÚMERO ATÔMICO, Z |
|--------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|
| Alfa, $\alpha$           | 2 prótons e 2 nêutrons | diminui 4          | diminui 2         |
| Beta negativa, $\beta^-$ | elétron                | não muda           | aumenta 1         |
| Beta positiva, $\beta^+$ | pósitron               | não muda           | diminui 1         |

### GUARDE ISTO

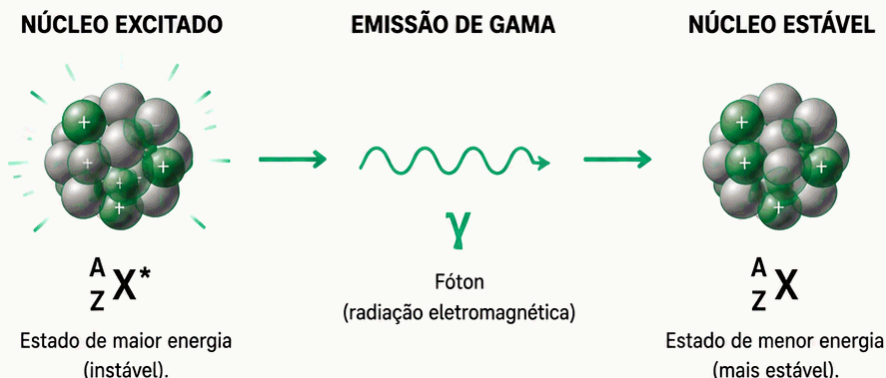
Alfa tira 4 de A e 2 de Z. Beta mantém A e mexe 1 em Z, para cima na negativa e para baixo na positiva. Quem muda Z muda o elemento.

## Gama, e por que blindagem não é a mesma para todas

Depois de emitir alfa ou beta, o núcleo costuma sobrar com energia de mais. Ele se livra dessa energia na forma de **radiação gama**, que é onda eletromagnética, sem massa e sem carga. Como nada de matéria sai do núcleo, A e Z ficam intactos, e o elemento continua o mesmo. O asterisco marca o núcleo excitado.

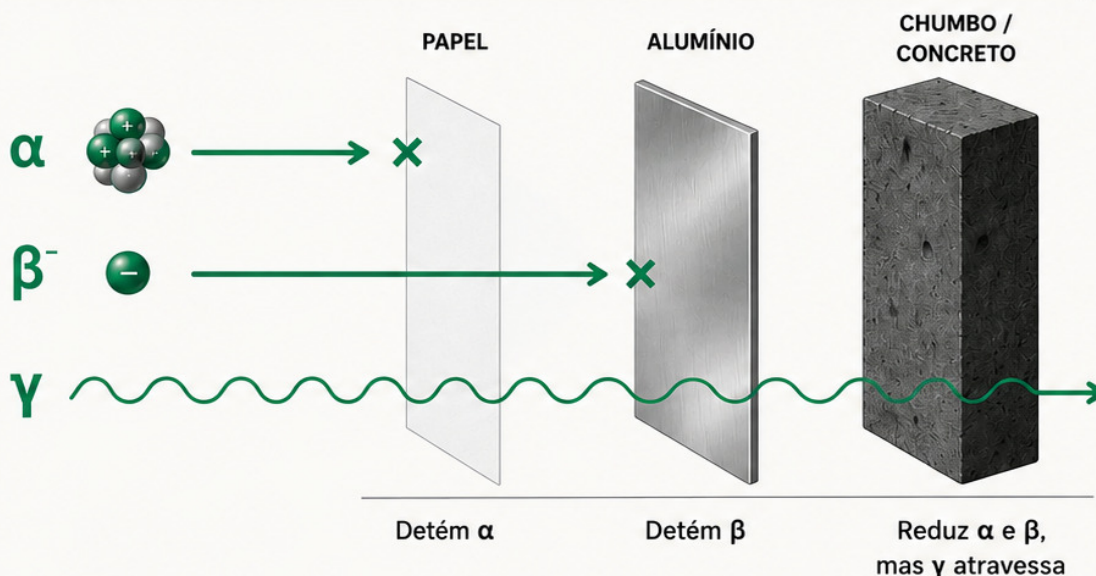


O cobalto-60 continua cobalto-60. A emissão gama só rebaixa a energia do núcleo.



Duas grandezas diferentes descrevem como cada radiação interage com a matéria, e elas crescem em sentidos opostos. **Poder de penetração** é o quanto a radiação atravessa. **Poder de ionização** é o quanto ela arranca elétrons do que atravessa. A partícula alfa é grande e carregada, então ela entrega energia rápido e para logo. A gama não tem massa nem carga, então ela passa longe e ioniza pouco.

### PODER DE PENETRAÇÃO (ATRAVESSA)

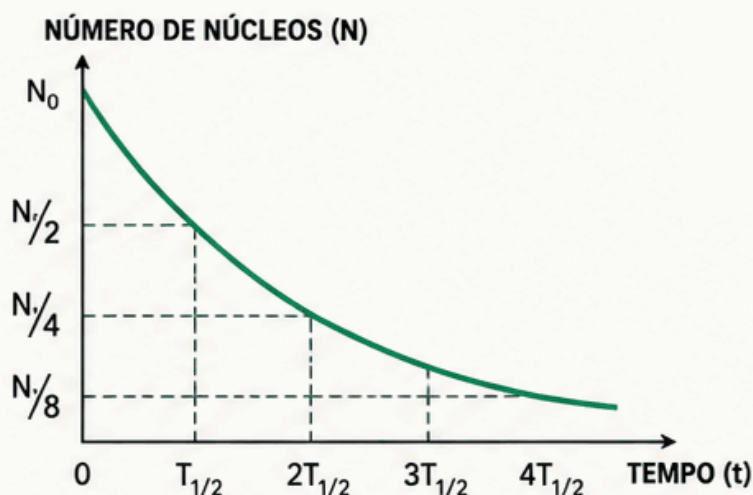


### GUARDE ISTO

Em penetração, alfa é a mais fraca e gama a mais forte. Em ionização, a ordem se inverte. Uma folha de papel segura o alfa, o alumínio segura o beta, e o gama pede chumbo ou concreto.

## Meia-vida, datação, fissão e fusão

**Meia-vida** é o tempo que uma amostra leva para ficar com metade dos núcleos radioativos que tinha. Ela não depende da quantidade inicial nem da temperatura, e é isso que faz a datação funcionar. A conta se faz em pulos, contando quantas meias-vidas cabem no tempo dado.

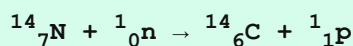


| MEIAS-VIDAS | RESTA |
|-------------|-------|
| 1           | 1/2   |
| 2           | 1/4   |
| 3           | 1/8   |
| 4           | 1/16  |

Uma amostra com meia-vida de 10 dias, depois de 30 dias, passou por 3 meias-vidas e ficou com 1/8 do que tinha, ou seja, 12,5%.

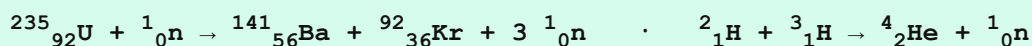
### POR QUE O CARBONO-14 DATA UM FÓSSIL

O carbono-14 se forma o tempo todo na alta atmosfera, quando um nêutron gerado por raio cósmico atinge um núcleo de nitrogênio-14. Repare que a conta fecha do mesmo jeito, com 15 de massa e 7 de número atômico dos dois lados, embora aqui a reação seja provocada e não espontânea.



Esse carbono-14 vira gás carbônico e entra na cadeia alimentar, então todo ser vivo mantém enquanto vive a mesma proporção de carbono-14 do ambiente. Depois da morte a reposição para, sobra só o decaimento, e a meia-vida de 5730 anos transforma o que restou em idade.

Além do decaimento espontâneo, o núcleo libera energia por dois caminhos provocados. Na **fissão**, um núcleo pesado absorve um nêutron e se quebra em dois núcleos menores, liberando nêutrons que mantêm a reação em cadeia. É o que roda em usina nuclear. Na **fusão**, núcleos leves se juntam e formam um mais pesado, o que exige temperatura de milhões de kelvin e é o que acontece no Sol.



Fissão à esquerda, com 236 de cada lado. Fusão à direita, com 5 de cada lado. A conservação de A e de Z vale nas duas.

### GUARDE ISTO

Cada meia-vida corta a quantidade pela metade, e a conta se resolve contando pulos. É essa queda constante que permite datar um fóssil pelo carbono-14. Fissão quebra núcleo pesado, fusão junta núcleo leve, e as duas liberam energia.

## Como fechar uma questão nuclear em trinta segundos

### 01 Feche a conta antes de pensar em conceito

Some os números de massa dos dois lados da equação, depois os números atômicos. Alternativa que não fecha nos dois está eliminada, e isso derruba duas ou três de uma vez, sem você precisar saber qual emissão é qual.

### 02 Quatro e dois, para o alfa

Alfa é o hélio saindo. Tire 4 de cima e 2 de baixo, e ande duas casas para a esquerda na tabela periódica.

### 03 Beta mexe embaixo, nunca em cima

Toda emissão beta preserva o número de massa. Se a alternativa mudou o número de cima numa emissão beta, ela está errada antes de qualquer outra conferência.

### 04 Conte pulos, não faça regra de três

Divida o tempo dado pela meia-vida e conte na mão, metade, quarto, oitavo. Meia-vida é queda pela metade a cada intervalo, então dobrar o tempo nunca dobra o efeito.

### 05 Quem atravessa mais, ioniza menos

Guarde uma das duas ordens e inverta a outra. Se a questão fala em blindagem, ela quer penetração. Se ela fala em dano ao tecido ou em arrancar elétron, ela quer ionização.

**Papel segura o alfa.**  
**O gama só para no chumbo.**

E o beta fica no meio, retido pela folha de alumínio

## As quatro confusões que custam ponto

### Tirar o elétron do beta da eletrosfera

O elétron emitido na beta negativa nasce **dentro do núcleo**, quando um nêutron se converte em próton. Quem trata a emissão beta como perda de elétron da camada de valência conclui que o átomo virou cátion e que o elemento continua o mesmo. Os dois erros vêm juntos, e o certo é o contrário. A carga do núcleo aumenta e o elemento muda.

### Trocar poder de penetração por poder de ionização

As duas ordens são inversas, e a alternativa errada costuma oferecer a gama como a mais ionizante, porque ela é a mais penetrante. A gama atravessa justamente por interagir pouco com a matéria, e interagir pouco significa ionizar pouco.

### Achar que a emissão gama transforma o elemento

Gama é energia saindo, sem massa e sem carga. A e Z ficam iguais, e o núcleo continua sendo o mesmo elemento, apenas com menos energia. Alternativa que faz o gama mudar o número atômico está descartada de saída.

### Somar meias-vidas como se o decaimento fosse proporcional

Depois de duas meias-vidas resta  $1/4$  da amostra, e não a metade da metade somada em nada parecido com zero. Três meias-vidas deixam  $1/8$ , quatro deixam  $1/16$ , e a amostra nunca chega a zero por essa conta. Quem monta regra de três marca a alternativa que diz que o material acabou.

# TUDO QUE VOCÊ PRECISA DECORAR

O ENEM entrega quase todo dado numérico dentro do enunciado. Esta seção reúne o que ele **não** entrega, e que por isso precisa sair de você na hora da prova.

## ASSUNTO 01 · TABELA PERIÓDICA

$$Z_{ef} = Z - S$$

Carga nuclear efetiva, o motor de todas as propriedades periódicas

$$\text{bloco } s \rightarrow \text{grupo} = \text{elétrons no } ns$$

Bloco p  $\rightarrow$  grupo = 12 + elétrons no np. Bloco d  $\rightarrow$  grupo = ns + (n-1)d

$$\text{período} = \text{maior nível ocupado}$$

E não o número do último subnível preenchido

## ASSUNTO 02 · FUNÇÕES INORGÂNICAS

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] \quad \cdot \quad \text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$$

Se  $[\text{H}^+] = 1 \times 10^{-n}$ , então  $\text{pH} = n$ , sem conta

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

Vale apenas a 25 °C, e é por isso que o enunciado sempre informa a temperatura

$$\text{Pauling} \rightarrow x = n^\circ \text{ O} - n^\circ \text{ H ionizáveis}$$

$x = 3$  muito forte ·  $x = 2$  forte ·  $x = 1$  moderado ·  $x = 0$  fraco. Só para oxiácido

$$\text{hidrácidos fortes} \rightarrow \text{HCl}, \text{HBr}, \text{HI}$$

Moderado é só o HF. Todos os demais são fracos

## DUAS LISTAS CURTAS QUE VALEM MAIS QUE FÓRMULA

Óxidos **anfóteros** que caem, zinco, alumínio, chumbo, estanho e arsênio. Óxidos **neutros**, apenas monóxido de carbono, monóxido de nitrogênio e óxido nitroso.

## Assunto 03 · Estequiometria

### AS CONVERSÕES BÁSICAS

$$n = m / M$$

Quantidade de matéria em mol, massa em grama, massa molar em grama por mol. O ENEM não fornece esta, saiba de cabeça

$$N = n \times N_A \quad \cdot \quad N_A \approx 6,02 \times 10^{23}$$

A constante de Avogadro vem no enunciado quando é necessária

$$V = n \times V_m$$

Volume molar de 22,4 L/mol nas condições normais, mas use sempre o valor que o enunciado der

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

R vem no enunciado. A conversão de temperatura não vem

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273$$

Saiba de cabeça. É o erro mais barato do assunto inteiro

$$n = C \times V \quad \cdot \quad d = m / V$$

Quantidade de matéria em solução, e densidade. Aparecem nas questões do ácido tartárico e do biogás

### OS QUATRO MODIFICADORES

**limitante** → menor valor de  $n \div \text{coeficiente}$

Calcule para cada reagente e compare. O menor quociente acaba primeiro

**pureza** → age na ENTRADA

Converta a amostra em massa pura antes de montar a proporção

**rendimento no produto** → multiplique

Quando a pergunta é quanto de produto sai

**rendimento no reagente** → divida

Quando a pergunta é quanto de matéria-prima preciso. Este é o distrator mais comum

### A VERIFICAÇÃO QUE PEGA INVERSÃO DE RENDIMENTO

Se a pergunta é sobre matéria-prima, o resultado precisa ser **maior** que o valor estequiométrico puro, porque parte do que entra se perde no processo. Se o seu número deu menor, você inverteu a conta.

## Assunto 04 · Eletroquímica

### POTENCIAL E CARGA

$$\Delta E^\circ = E^\circ (\text{cátodo}) - E^\circ (\text{ânodo})$$

Sempre o maior potencial menos o menor. Resultado positivo indica processo espontâneo

$$\Delta E^\circ \text{ em série} = n \times \Delta E^\circ \text{ de uma célula}$$

Tensões de pilhas associadas em série se somam

$$Q = i \times t$$

Carga em coulomb, corrente em ampère, tempo sempre convertido para segundos

$$1 \text{ F} = 96\,500 \text{ C/mol}$$

Constante de Faraday, a carga de um mol de elétrons. Vem no enunciado

### FARADAY POR PROPORÇÃO, E NÃO POR FÓRMULA

A resolução oficial de toda questão de eletrólise do ENEM monta por regra de três, e é mais seguro assim, porque decorar a fórmula fechada leva a errar o número de elétrons. Siga sempre estes três passos.

Calcule a carga total com Q igual a i vezes t. Divida pela constante de Faraday para achar os mols de elétrons. Use a semirreação para converter elétrons em mols do metal, lembrando que o cobre precisa de dois elétrons e a prata precisa de um.

#### O QUE NUNCA MUDA

#### O QUE MUDA ENTRE PILHA E ELETRÓLISE

Ânodo é oxidação

Na pilha ele é negativo. Na eletrólise, positivo

Cátodo é redução

Na pilha ele é positivo. Na eletrólise, negativo

Elétron sai do ânodo

Nada muda. Vale para os dois

### A REGRA QUE A PROVA MAIS USA PARA DERRUBAR

O potencial padrão é uma grandeza **intensiva**. Multiplicar a semirreação por um coeficiente ao balancear não multiplica o valor de  $E^\circ$ . Inverter o sentido da semirreação, esse sim, inverte o sinal.

## Assuntos 05 e 06 · Orgânica e ambiental

### ASSUNTO 05 · QUÍMICA ORGÂNICA

**nome IUPAC = prefixo + infixo + sufixo**

Prefixo conta carbonos (met, et, prop, but, pent, hex, hept, oct, non, dec). Infixo dá a saturação (an, en, in). Sufixo dá a função (o, ol, al, ona, oico)

**éster = [ácido em ato] de [álcool em ila]**

Ácido etanoico com metanol forma etanoato de metila

**ebulição → amida > ácido > álcool > cetona > aldeído ≈ amina > éster > éter ≈ alceno**

Para massas molares próximas. A amida fica acima do ácido porque o ácido fecha em dímero e satura as próprias ligações de hidrogênio, enquanto a amida forma cadeia aberta

**acidez → ácido carboxílico > fenol > água > álcool > amina > alceno**

Quanto mais o ânion se estabiliza por ressonância, mais forte o ácido

### ASSUNTO 06 · QUÍMICA AMBIENTAL

**óxido de ametal + água → ácido**

Óxido de metal com água forma base. Resolve chuva ácida e calagem de solo

**combustão completa →  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$**

Combustão incompleta gera CO e depois fuligem, com menor liberação de energia

**chuva não poluída → pH em torno de 5,6**

Por causa do gás carbônico dissolvido. Chuva ácida é a que fica abaixo disso

## Assunto 07 · Radioatividade

### ASSUNTO 07 · RADIOATIVIDADE

**A total antes = A total depois · Z total antes = Z total depois**

A conservação vale em toda reação nuclear, inclusive em fissão e em fusão. É a primeira conferência a fazer em qualquer alternativa

**alfa → A diminui 4 e Z diminui 2**

A partícula alfa é um núcleo de hélio, com 2 prótons e 2 nêutrons

**beta negativa → A não muda e Z aumenta 1**

Um nêutron do núcleo se converte em próton e o elétron sai. Na beta positiva o caminho é o inverso, e Z diminui 1

**gama → A e Z não mudam**

Só sai energia, então o elemento continua o mesmo

**$N = N_0 \cdot (1/2)^{(t / T)}$**

T é a meia-vida. Divida o tempo t pela meia-vida para achar quantos pulos aconteceram, e corte pela metade em cada pulo

### AS DUAS ORDENS QUE SE INVERTEM

**penetração → alfa < beta < gama**

Papel detém alfa, alumínio detém beta, e o gama pede chumbo ou concreto

**ionização → alfa > beta > gama**

Quanto mais a radiação atravessa, menos ela ioniza pelo caminho

### CONFIRA ANTES DE VIRAR A PÁGINA

Toda fórmula usada nas 36 questões desta apostila está nestas cinco páginas. Se você travou em algum exercício por não lembrar de uma relação, ela está aqui e vale marcar.

# TABELA PERIÓDICA

dos elementos químicos

METALS

Metais alcalinos

Metais alcalinoterrosos

Metais de transição

Lantanídeos

AMETAIS

Ametais

Halogênios

OUTROS

Semimetais

Gases nobres

Hidrogênio

|                      |                       |                                   |                           |                     |                        |                      |                     |                        |                         |                         |                         |                      |                       |                       |                         |                      |                         |
|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| 1                    | 2                     | 3                                 | 4                         | 5                   | 6                      | 7                    | 8                   | 9                      | 10                      | 11                      | 12                      | 13                   | 14                    | 15                    | 16                      | 17                   | 18                      |
| 1<br>H<br>Hidrogênio | 2<br>He<br>Hélio      | 3<br>Li<br>Lítio                  | 4<br>Be<br>Berílio        | 5<br>B<br>Boro      | 6<br>C<br>Carbono      | 7<br>N<br>Nitrogênio | 8<br>O<br>Oxigênio  | 9<br>F<br>Fluor        | 10<br>Ne<br>Neônio      | 11<br>Na<br>Sódio       | 12<br>Mg<br>Magnésio    | 13<br>Al<br>Alumínio | 14<br>Si<br>Silício   | 15<br>P<br>Fósforo    | 16<br>S<br>Enxofre      | 17<br>Cl<br>Cloro    | 18<br>Ar<br>Argônio     |
| 19<br>K<br>Potássio  | 20<br>Ca<br>Cálcio    | 21<br>Sc<br>Escândio              | 22<br>Ti<br>Titânio       | 23<br>V<br>Vanádio  | 24<br>Cr<br>Cromo      | 25<br>Mn<br>Manganês | 26<br>Fe<br>Ferro   | 27<br>Co<br>Cobalto    | 28<br>Ni<br>Níquel      | 29<br>Cu<br>Cobre       | 30<br>Zn<br>Zinco       | 31<br>Ga<br>Gálio    | 32<br>Ge<br>Germânio  | 33<br>As<br>Arsênio   | 34<br>Se<br>Selênio     | 35<br>Br<br>Bromo    | 36<br>Kr<br>Criptônio   |
| 37<br>Rb<br>Rubídio  | 38<br>Sr<br>Estrôncio | 39<br>Y<br>Ítrio                  | 40<br>Zr<br>Zircônio      | 41<br>Nb<br>Níbio   | 42<br>Mo<br>Molibdênio | 43<br>Tc<br>Técnetio | 44<br>Ru<br>Rútenio | 45<br>Rh<br>Ródio      | 46<br>Pd<br>Paládio     | 47<br>Ag<br>Prata       | 48<br>Cd<br>Cádmio      | 49<br>In<br>Índio    | 50<br>Sn<br>Estanho   | 51<br>Sb<br>Antimônio | 52<br>Te<br>Telúrio     | 53<br>I<br>Iodo      | 54<br>Xe<br>Xenônio     |
| 55<br>Cs<br>Césio    | 56<br>Ba<br>Bário     | 57<br>La <sup>*</sup><br>Lantânio | 72<br>Hf<br>Háfnio        | 73<br>Ta<br>Tântalo | 74<br>W<br>Tungstênio  | 75<br>Re<br>Rênio    | 76<br>Os<br>Ósmio   | 77<br>Ir<br>Íridio     | 78<br>Pt<br>Platina     | 79<br>Au<br>Ouro        | 80<br>Hg<br>Mercúrio    | 81<br>Tl<br>Tálio    | 82<br>Pb<br>Chumbo    | 83<br>Bi<br>Bismuto   | 84<br>Po<br>Polônio     | 85<br>At<br>Astató   | 86<br>Rn<br>Radônio     |
| 87<br>Fr<br>Frâncio  | 88<br>Ra<br>Rádio     | 89<br>Ac <sup>**</sup><br>Actínio | 104<br>Rf<br>Rutherfordio | 105<br>Db<br>Dúbnio | 106<br>Sg<br>Seabórgio | 107<br>Bh<br>Bório   | 108<br>Hs<br>Hássio | 109<br>Mt<br>Meitnério | 110<br>Ds<br>Darmstádio | 111<br>Rg<br>Roentgênio | 112<br>Cn<br>Copernício | 113<br>Nh<br>Nhônio  | 114<br>Fl<br>Fleróvio | 115<br>Mc<br>Moscóvio | 116<br>Lv<br>Livermório | 117<br>Ts<br>Tenessó | 118<br>Og<br>Oganesônio |

COMO LER CADA ELEMENTO

6

12,011

C

Carbono

número atômico

massa atômica

simbolo

nome

Massas atômicas segundo a IUPAC. Valores entre parênteses indicam o número de massa do isótopo mais estável.

descomplica.com.br

## Quer consultar com mais conforto?

Esta página traz a tabela inteira em um campo de visão só, e para isso a massa atômica ficou em corpo pequeno. Aponte a câmera para o código ao lado e baixe a versão A3 em alta resolução, ideal para imprimir e colar na parede.

[crm.descomplica.com.br/materiais-gratuitos/tabela-periodica](http://crm.descomplica.com.br/materiais-gratuitos/tabela-periodica)



# CONFIRA O QUE VOCÊ RESPONDEU

O comentário abaixo não é resolução completa. Ele traz o suficiente para você entender onde errou. Se um item continuar confuso depois de lido, volte à página de teoria daquele assunto.

## Assunto 01 · Tabela periódica e terras raras

- DISC** **UNESP 2020.** O processo é a **separação magnética**, já que o ímã atrai os grãos escuros que contêm óxidos de ferro. A monazita é neutra porque a soma das cargas positivas fecha em +3,0 (0,494 e 0,24 e 0,20 de cátions 3+ mais 0,05 de cátion 4+), anulando a carga -3 do fosfato. Na emissão alfa, o tório-232 vira rádio-228, e o número de nêutrons é 228 menos 88, ou seja, 140.
- C** Terras raras ocorrem em pequenas concentrações misturadas a outros minerais, e é a separação que é difícil, não a extração. As maiores reservas estão na China, com o Brasil em segundo lugar.
- C** No difluoreto de xenônio o gás nobre fica com **10 elétrons** na camada de valência, somando três pares isolados e dois pares ligantes. É um caso de expansão de octeto, possível a partir do terceiro período.
- C** A **eletronegatividade** do flúor é a maior da tabela, e é essa propriedade que explica a escolha dele como reagente capaz de forçar a reação com um gás nobre.

## Assunto 02 · Funções inorgânicas

- E** O calcário é sal de ácido fraco com base forte, então ele hidrolisa e deixa o meio básico. O pH sobe, a alcalinidade aumenta e os íons alumínio precipitam, ficando menos disponíveis para a planta.
- C** Ácido com carbonato forma sal, água e **gás carbônico**. A alternativa que aponta gás hidrogênio descreve a reação de ácido com **metal**, que é outra coisa.
- B** A dimetilamina é uma **base**, então precisa de um ácido para neutralizar, e o vinagre é o único ácido da lista. Bicarbonato de sódio é o reflexo de muita gente, mas ele daria solução básica e não resolveria o vazamento.
- E** Três pistas convergem para o **cloreto de hidrogênio**. Ele é diatômico heteronuclear, tem caráter ácido (o que descarta o monóxido de carbono, que é neutro) e libera gás carbônico ao encontrar carbonato. E o PVC tem cloro na cadeia.

**Assunto 03 · Estequiometria**

- D** Cada mol de cloreto de cálcio ganha duas águas, ou seja, 36 g sobre os 111 g iniciais. O ganho é  $36 \div 111$ , cerca de **32%**. A base do percentual é sempre a massa inicial, e a alternativa com 24% vem de dividir pela massa final.
- E** 480 kg de titânio equivalem a 10 kmol. Como o tetracloreto aparece com coeficiente 1 nas duas equações, a proporção fecha direto em 2 mols de cloro para 1 de titânio. São 20 kmol de  $\text{Cl}_2$ , que a 71 g/mol dão **1 420 kg**.
- C** 10 mol de etanol equivalem a 460 g, que na densidade dada ocupam 0,59 L, e portanto correspondem a 1 m<sup>3</sup> de biogás. Desse volume, apenas 70% é metano, ou seja, 700 L, que a 22 L/mol dão cerca de 31,8 mol e **510 g**. Quem usa os 1 000 L inteiros chega a 720 g.
- E** 9,3 kg de nióbio são 100 mol. A proporção de 6 para 10 leva a 166,7 mol de alumínio, ou 4,5 kg. Falta aplicar o excesso de 10%, o que dá **5,0 kg**. A alternativa com 4,5 kg é exatamente a resposta de quem esqueceu o excesso.

**Assunto 04 · Eletroquímica**

- D** A espécie precisa cumprir duas condições ao mesmo tempo, estar na forma **reduzida** para ter elétron a doar, e ter potencial **menor** que o da prata. Só o estanho metálico cumpre as duas. Alumínio e zinco aparecem como cátions, já oxidados, e por isso não servem.
- D** O enunciado avisa que a barra de ferro está corroída, o que identifica o ferro como o ânodo. Sobra o **tubo de cobre** como cátodo, o que também bate com o potencial maior dele.
- E** No ânodo o zinco se oxida. Como o eletrólito é alcalino, o cátion formado não fica livre em solução, ele complexa com hidroxila e forma  **$\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$** .
- D** Converta as 3 h para 10 800 s, ache a carga de 108 000 C e divida pela constante de Faraday, chegando a 1,12 mol de elétrons. Como o cobre precisa de 2 elétrons por átomo, são 0,56 mol de cobre, ou **35,5 g**.

**Assunto 05 · Química orgânica**

- A** O **ácido carboxílico** é a única função presente nos dois compostos. As demais alternativas listam funções que existem em apenas um deles, o fenol só no primeiro, a cetona e o alceno só no segundo.
- C** Duas travas resolvem sem desenhar a cânfora. O esqueleto não muda na oxidação, então continuam 10 carbonos. E oxidar álcool secundário a cetona remove **dois hidrogênios** mantendo o oxigênio, o que leva de  $C_{10}H_{18}O$  para  $C_{10}H_{16}O$ .
- E** O enunciado entrega a causa, os microrganismos não quebram cadeias ramificadas. A correção é transformar a cadeia ramificada em **cadeia normal**. As outras alternativas atacam a parte polar, que é justamente o que faz o tensoativo funcionar.
- A** Uma base captura próton, então o grupo procurado é o que tem hidrogênio ácido para ceder. Só a **sulfonamida** tem, no seu N-H, acidificado pelos dois oxigênios do grupo sulfonila. Metila e fenila têm hidrogênios não ácidos, e nitro e éter não têm hidrogênio nenhum.

**Assunto 06 · Química ambiental**

- D** Foram recicladas 97,4% de  $4,0 \times 10^5$  t, ou seja, cerca de  $3,9 \times 10^5$  t de alumínio. Como cada 10 kg de alumínio exigem 50 kg de bauxita, multiplique por 5 e chegue a  **$1,9 \times 10^6$  t**. A alternativa com  $3,9 \times 10^5$  t é a de quem parou no alumínio.
- C** Razão 18 é mistura pobre, com ar em excesso. A combustão fica mais completa, então o **monóxido de carbono cai a praticamente zero** e o **gás carbônico fica alto**, bem acima do que se vê na mistura rica. Basta ler as duas curvas no ponto 18 do gráfico.
- C** Aplique a equação dos gases com as conversões corretas, 100 mL viram 0,1 L e  $650^\circ\text{C}$  viram 923 K. A pressão sai em  $0,1 \times 0,082 \times 923 \div 0,1$ , cerca de **76 atm**. Quem esquece de converter a temperatura erra por um fator grande.
- C** pH menor significa mais  $H^+$  disponível, o que desloca o par amônia e amônio para o lado do cátion. Forma-se  **$NH_4^+$** . Repare que esta é uma questão de equilíbrio ácido-base disfarçada de ciclo do nitrogênio, exatamente o padrão do assunto.

# E AGORA, O QUE FAZER COM ISTO

- 01 Refaça o que você errou, alguns dias depois.** Sem olhar a resolução antes. Espalhar as revisões ao longo do tempo fixa mais do que repetir tudo de uma vez.
- 02 Volte à Dica do Prof do assunto que mais travou.** Aquelas páginas foram feitas para leitura rápida, e cabem numa revisão de dez minutos.
- 03 Use o formulário como cola na semana da prova.** São cinco páginas com tudo que o ENEM não entrega no enunciado.
- 04 Misture assuntos no mesmo dia.** A prova não separa as questões por capítulo, e o seu treino também não deveria.

## CONTINUE ESTUDANDO COM A GENTE

Na plataforma Descomplica você encontra a trilha completa de Química, com videoaula, exercício comentado e correção de simulado.