

Prof. Marcus Ennes  
Prof. Felipe Garcia

# Química geral

## UNIDADE 14: Radioatividade – Meia-vida

Assim como os grandes acidentes nucleares, que ocasionaram explosões emitindo uma poeira radioativa detectada a milhares de quilômetro de distância, as bombas nucleares de Hiroshima e Nagasaki também marcaram a história da humanidade.

Localizado em Pripyat, o acidente na usina de Chernobyl, em 1986, transformou a vida de todas as pessoas ao redor, tornando a cidade, fundada em 1970 para abrigar os funcionários da usina, em uma cidade fantasma. De uma população composta por aproximadamente 50 mil pessoas, praticamente todos abandonaram a cidade, deixando a maior parte de seus pertences, contaminados pela radiação. Alguns objetos, como os uniformes dos bombeiros que atenderam ao primeiro chamado do acidente foram descartados no subsolo dos hospitais, e continuam a emitir altos níveis de radiação até hoje. Cientistas apontam mais de 20 mil anos como o tempo necessário para a zona tornar-se habitável novamente. Para o cálculo de quanto tempo uma zona que sofreu este tipo de acidente leva para ser habitável novamente um dos principais fatores levados em conta é o tempo de meia-vida das espécies radioativas.



### Meia-vida

De uma forma mais geral, a meia-vida de um radioisótopo é o tempo necessário para que a atividade radioativa desse material radioativo se reduza à metade. Na maior parte dos casos, o referencial adotado será a massa, mas pode-se tomar a quantidade de emissões radioativas no tempo ou até mesmo a quantidade de uma determinada partícula.

Suponha que a meia-vida de uma substância é de 12 horas. Isso significa que, passado este tempo, equivalente a uma meia-vida, o número de átomos radioativos será metade da quantidade no momento inicial. Assim, teremos também a metade da massa inicial desse elemento radioativo se transmutando, isto é, transformando-se em outra substância. Passado mais um tempo equivalente à um período de meia-vida, essa quantidade será um quarto da massa inicial da amostra e assim sucessivamente, portanto, a relação geral pode ser dada pela seguinte expressão:

$$A_f = \frac{A_0}{2^n}$$

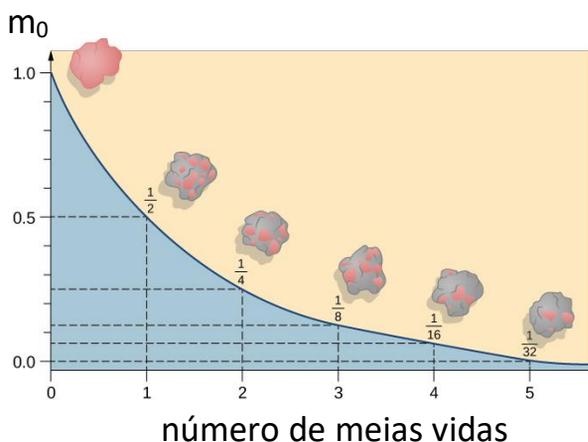
Onde “ $A_f$ ” é a atividade restante do material radioativo após o decaimento, “ $A_0$ ” é a atividade inicial da amostra e “ $n$ ” é o número de meias-vidas que se passaram.

Em termos de massa, podemos então escrever a relação em questão da seguinte maneira:

$$m_f = \frac{m_0}{2^n}$$

Onde  $m_f$  é a massa restante do material radioativo após o decaimento,  $m_0$  é a massa inicial da amostra e  $n$  é o número de meias-vidas que se passaram.

Observe a curva de decaimento de uma amostra radioativa a seguir:



Pode-se observar que, conforme o número de meias-vidas avança, a quantidade da amostra radioativa se reduz à metade.

Supondo uma amostra de 100 g de um isótopo radioativo do elemento tório ( ${}_{90}\text{Th}^{232}$ ) cuja meia vida é de 24 dias, seu decaimento radioativo se dá da seguinte forma:

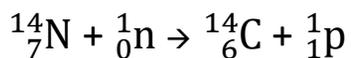
100 g	→	50 g	→	25 g	→	12,5 g
		24		48		72
		dias		dias		dias

Pode-se observar que, a cada período de meia vida que se passa (24 dias), a quantidade de tório será a metade da quantidade presente no intervalo anterior.

## Datação isotópica

Pode-se utilizar o tempo de meia vida de um elemento radioativo para se determinar a idade de uma certa amostra a qual deseja-se descobrir. Um exemplo é a datação por carbono-14.

Na natureza o carbono-12 é o principal isótopo do carbono, mas, há também uma pequena fração do seu isótopo, o carbono-14, na constituição dos seres vivos. Esses átomos de carbono-14 são geralmente produzidos a partir do bombardeamento de átomos de nitrogênio por nêutrons emitidos por raios cósmicos, conforme mostra a equação a seguir:



Assim, os átomos de carbono-14 são incorporados pelos organismos através dos processos de fotossíntese (seres autotróficos) e da digestão (seres heterotróficos). São liberados novamente ao ambiente pelos processos de digestão, excreção e respiração dos seres vivos. Como resultado desse processo, todos os organismos vivos possuem uma proporção fixa de carbono-14, que é de aproximadamente 1 átomo desse isótopo para cada  $10^{12}$  átomos de carbono-12.

Quando um ser vivo morre, este deixa de trocar carbono-14 com o meio, entretanto, os átomos continuam a se desintegrar.

O tempo de meia vida do carbono-14 é de, aproximadamente, 5730 anos. Assim, sabendo-se a quantidade original desse isótopo em um tecido vivo, ao se achar uma amostra que contenha carbono-14, como um fóssil, por exemplo, pelo percentual restante desse elemento na amostra, pode-se determinar a idade do material.

Por exemplo: suponhamos que uma amostra apresente 25% da quantidade total de carbono-14 original. Assim, teremos o seguinte decaimento:

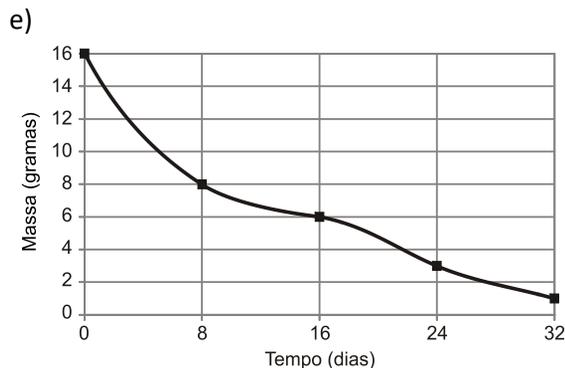
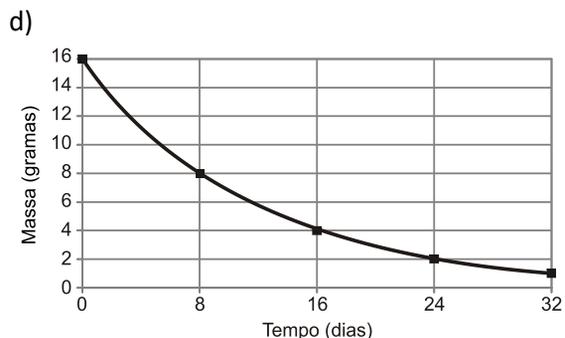
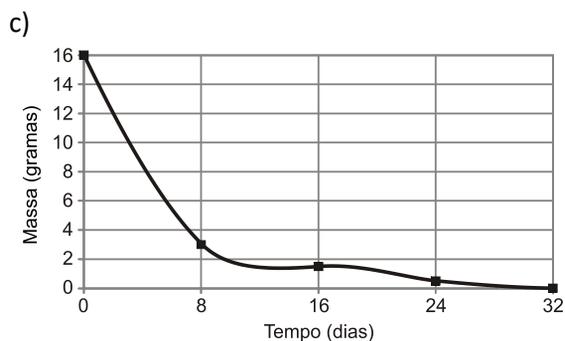
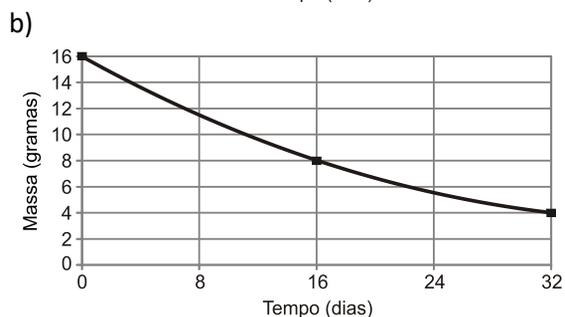
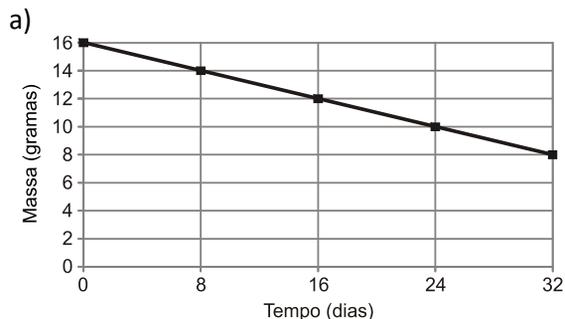
100%	→	50%	→	25%
		5730		11460
		anos		anos

Assim, com base no percentual restante de carbono-14, pode-se concluir que a amostra em questão passou por dois períodos de meia vida, logo, será datada como tendo 11.460 anos.



## ATIVIDADES PROPOSTAS

1) No acidente ocorrido na usina nuclear de Fukushima, no Japão, houve a liberação do iodo Radioativo 131 nas águas do Oceano Pacífico. Sabendo que a meia-vida do isótopo do iodo Radioativo 131 é de 8 dias, o gráfico que representa a curva de decaimento para uma amostra de 16 gramas do isótopo  $^{131}_{53}\text{I}$  é:



2) “Os *Curie* empreenderam uma elaborada análise química da uraninite, separando seus numerosos elementos em grupos analíticos: sais de metais alcalinos, de elementos alcalino terrosos, de elementos de terras raras... Os *Curie* continuaram a analisar os resíduos de uraninite e, em julho de 1898, obtiveram um extrato de bismuto quatrocentas vezes mais radioativo que o próprio urânio”.

(*Tio Tungstênio memórias de uma infância química* — Oliver Sacks— p. 257).

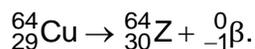
Considerando a meia vida do bismuto ( $^{214}\text{Bi}$ ), que é de 20 minutos, e uma amostra inicial de 100,0 g de  $^{214}\text{Bi}$ , a quantidade restante de  $^{214}\text{Bi}$  dessa amostra, que o casal *Curie* observaria, passada uma hora, seria de

- a) 5,0 g
- b) 12,5 g
- c) 33,2 g
- d) 45,0 g
- e) 80,5 g

3) O terremoto e o tsunami ocorridos no Japão em 11 de março de 2011 romperam as paredes de isolamento de alguns reatores da usina nuclear de Fukushima, o que ocasionou a liberação de substâncias radioativas. Entre elas está o iodo-131, cuja presença na natureza está limitada por sua meia-vida de oito dias. O tempo estimado para que esse material se desintegre até atingir 1/16 da sua massa inicial é de

- a) 8 dias.
- b) 16 dias.
- c) 24 dias.
- d) 32 dias.
- e) 128 dias.

4) A meia vida do radioisótopo cobre-64 ( $^{64}_{29}\text{Cu}$ ) é de apenas 12,8 horas, pois ele sofre decaimento  $\beta$  se transformando em zinco, conforme a representação:



Considerando uma amostra inicial de 128 mg de cobre-64, após 76,8 horas, a massa restante desse radioisótopo será de:

- a) 2 mg
- b) 10 mg
- c) 12 mg
- d) 28 mg
- e) 54 mg

5) Um hospital tem em seu estoque um medicamento à base de cromo-51 cuja atividade radioativa inicial era de 40 mCi. Sabendo que o cromo-51 tem tempo com meia vida de 27,7 dias e que o medicamento está estocado há 80 dias, decorrido esse tempo, a atividade desse medicamento, em mCi, será de aproximadamente

- a) 1,25.
- b) 2,5.
- c) 5,0.
- d) 10.
- e) 20.

6) Quanto tempo levará para a atividade do radioisótopo  $^{137}\text{Cs}$  cair para 3,125% de seu valor inicial?

Dado: Considere que o tempo de meia vida do radioisótopo  $^{137}\text{Cs}$  seja de 30 anos.

- a) 150 anos
- b) 0,93 anos
- c) 180 anos
- d) 29 anos

7) Uma das consequências do tsunami ocorrido no Japão foi a contaminação radioativa, como mostra o trecho retirado de uma notícia da época.

“Na segunda-feira foram detectados índices de iodo 131 e de césio 137, 126,7 e 24,8 vezes mais elevados, respectivamente, que os fixados pelo

governo, em análises das águas do mar próximas de Fukushima, 250 km ao norte da megalópole de Tóquio e de seus 35 milhões de habitantes”.

Se uma amostra dessa água fosse coletada e isolada para acompanhar a atividade radioativa, seria correto afirmar que

**Dados:** tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ )

césio 137 = 30 anos

iodo 131 = 8 dias

- a) seriam necessários 744 anos para que a atividade devida ao césio-137 retornasse ao nível normal.
- b) seria necessário, para ambos os isótopos, entre seis e sete períodos de meia vida para que os índices de um e outro ficassem próximos de 1% do valor inicial.
- c) seriam necessários aproximadamente 3 anos para que a atividade devida ao iodo 131 retornasse ao nível normal.
- d) o aquecimento da amostra aceleraria o decaimento radioativo de ambos os isótopos e assim haveria uma descontaminação mais rápida.
- e) somente a contaminação por césio seria grave, devido ao seu maior tempo de meia vida.

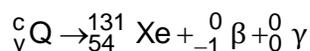
8) Uma explosão na usina nuclear de Fukushima no Japão, devido a um tsunami, evidenciou o fenômeno da radiação que alguns elementos químicos possuem e à qual, acidentalmente, podemos ser expostos. Especialistas informaram que Césio-137 foi lançado na atmosfera.

Sabendo-se que o Césio-137 tem tempo de meia vida de 30 anos, depois de 90 anos, em uma amostra de 1,2g de Césio-137 na atmosfera, restam:

- a) 0,10g
- b) 0,15g
- c) 0,25g
- d) 0,30g
- e) 0,35g

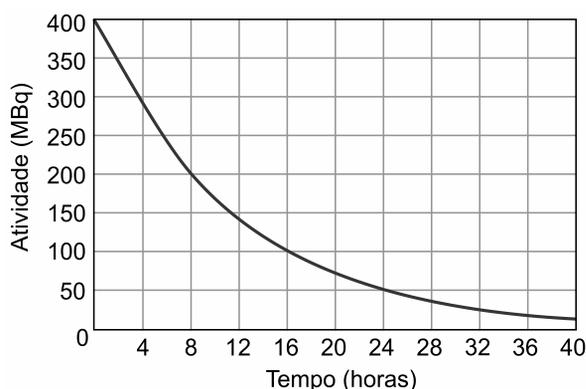
9) Algumas categorias de câncer de tireoide podem ser tratadas por meio de um tipo de

radioterapia em que o radioisótopo é disponibilizado no interior do organismo do paciente. Dessa forma, a radiação é emitida diretamente no órgão a ser tratado e os efeitos colaterais são diminuídos. O radioisótopo usado nesse tipo de radioterapia decai de acordo com a equação.



O radioisótopo  ${}^c_y\text{Q}$  é inserido em cápsulas. Para realizar a radioterapia, o paciente é isolado em instalação hospitalar adequada onde ingere uma dessas cápsulas e permanece internado até que a atividade do radioisótopo atinja valores considerados seguros, o que ocorre após o tempo mínimo correspondente a 3 meias-vidas do radioisótopo.

A figura apresenta a curva de decaimento radioativo para  ${}^c_y\text{Q}$



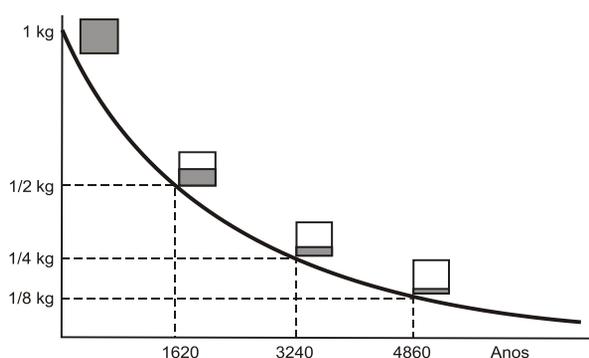
O radioisótopo  ${}^c_y\text{Q}$  e o tempo mínimo que o paciente deve permanecer internado e isolado quando é submetido a esse tipo de radioterapia são, respectivamente,

- ${}^{131}_{53}\text{I}$  e 12 horas.
- ${}^{131}_{53}\text{I}$  e 72 horas.
- ${}^{131}_{53}\text{I}$  e 24 horas.
- ${}^{131}_{55}\text{Cs}$  e 24 horas.
- ${}^{131}_{55}\text{Cs}$  e 12 horas.

10) O lixo radioativo ou nuclear é resultado da manipulação de materiais radioativos, utilizados hoje na agricultura, na indústria, na medicina, em pesquisas científicas, na produção de energia etc. Embora a radioatividade se reduza com o tempo, o processo de decaimento

radioativo de alguns materiais pode levar milhões de anos.

Por isso, existe a necessidade de se fazer um descarte adequado e controlado de resíduos dessa natureza. A taxa de decaimento radioativo é medida em termos de um tempo característico, chamado meia-vida, que é o tempo necessário para que uma amostra perca metade de sua radioatividade original. O gráfico seguinte representa a taxa de decaimento radioativo do rádio-226, elemento químico pertencente à família dos metais alcalinos terrosos e que foi utilizado durante muito tempo na medicina.



As informações fornecidas mostram que

- quanto maior é a meia-vida de uma substância mais rápido ela se desintegra.
- apenas 1/8 de uma amostra de rádio-226 terá decaído ao final de 4.860 anos.
- metade da quantidade original de rádio-226, ao final de 3.240 anos, ainda estará por decair.
- restará menos de 1% de rádio-226 em qualquer amostra dessa substância após decorridas 3 meias-vidas.
- a amostra de rádio-226 diminui a sua quantidade pela metade a cada intervalo de 1.620 anos devido à desintegração radioativa.

11) Marie Curie (1867 - Polônia) foi uma cientista que dedicou a vida aos estudos da radioatividade. Ela descobriu os elementos  ${}^{210}\text{Po}$  e  ${}^{226}\text{Ra}$ , foi a primeira mulher a ganhar um prêmio Nobel e a primeira pessoa a conquistá-lo duas vezes, além de ser a primeira mulher a atuar como professora na Universidade de Paris. Suponha uma quantidade de 128 gramas de  ${}^{210}\text{Po}$ , que tem uma meia vida de 138 dias,

decaindo em  $^{206}\text{Pb}$  pela emissão de uma partícula alfa. Com base no enunciado e nos conhecimentos sobre radioatividade, considere as afirmativas a seguir.

I. Para que se tenha 32 gramas de  $^{210}\text{Po}$ , são necessários 276 dias.

II. A partícula alfa é composta por dois prótons e dois nêutrons.

III. Para que se tenha 96 gramas de  $^{206}\text{Pb}$ , são necessários 276 dias.

IV. Para que se tenha apenas um grama de  $^{210}\text{Po}$ , são necessários 3.328 dias.

Dados: Pb (Z = 82); Po (Z = 84).

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e II são corretas.
- b) Somente as afirmativas I e IV são corretas.
- c) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
- d) Somente as afirmativas I, II e III são corretas.
- e) Somente as afirmativas II, III e IV são corretas.

12) O  $^{201}\text{Tl}$  é um isótopo radioativo usado na forma de  $\text{TlCl}_3$  (cloreto de tálio) para diagnóstico do funcionamento do coração. Sua meia-vida é de 73h ( $\approx 3$  dias). Certo hospital possui 20 g deste isótopo. Sua massa, em gramas, após 9 dias, será igual a:

- a) 1,25.
- b) 3,3.
- c) 7,5.
- d) 2,5.
- e) 5,0.

13) Ao estudar a desintegração radioativa de um elemento, obteve-se uma meia-vida de 4h. Se a massa inicial do elemento é 40g, depois de 12h, teremos (em gramas):

- a) 10
- b) 5
- c) 8
- d) 16
- e) 20

14) Um ambiente foi contaminado com fósforo radioativo,  $^{32}_{15}\text{P}$ . A meia-vida desse radioisótopo é de 14 dias. A radioatividade por ele emitida deve cair a 6,25% de seu valor original após:

- a) 7 dias
- b) 14 dias
- c) 28 dias
- d) 56 dias
- e) 140 dias

15) Considere que um certo organismo vivo fixou 0,08 mg de estrôncio-90, e que a sua meia-vida é igual a 28 anos. O tempo necessário, em anos para reduzir essa quantidade de isótopo radioativo a 0,02 mg é:

- a) 112
- b) 56
- c) 28
- d) 14
- e) 7

16) A análise de uma amostra de um meteorito indicou que este contém 3 átomos de chumbo  $^{206}_{82}\text{Pb}$  para cada átomo de urânio  $^{238}_{92}\text{U}$ . Considerando que nenhum  $^{206}_{82}\text{Pb}$  estaria presente na formação do meteorito e que ele é formado pelo decaimento radioativo do  $^{238}_{92}\text{U}$ , cuja meia-vida é  $4,5 \cdot 10^9$  anos, marque a alternativa correta para a idade do meteorito.

- a)  $4,5 \cdot 10^9$  anos
- b)  $9,0 \cdot 10^9$  anos
- c)  $13,5 \cdot 10^9$  anos
- d)  $18,0 \cdot 10^9$  anos
- e)  $22,3 \cdot 10^9$  anos

17) A técnica do carbono-14 permite a datação de fósseis pela medição dos valores de emissão beta desse isótopo presente no fóssil. Para um ser em vida, o máximo são 15 emissões beta/(min g).

Após a morte, a quantidade de  $^{14}\text{C}$  se reduz pela metade a cada 5730 anos.

Considere que um fragmento fóssil de massa igual a 30g foi encontrado em um sítio arqueológico, e a medição de radiação apresentou 6750 emissões beta por hora.

A idade desse fóssil, em anos, é

- a) 450
- b) 1433
- c) 11460
- d) 17109
- e) 27000

18) A seguinte notícia foi veiculada por ESTADAO.COM.BR/Internacional na terça-feira, 5 de abril de 2011:

TÓQUIO - A empresa Tepco informou, nesta terça-feira, que, na água do mar, nas proximidades da usina nuclear de Fukushima, foi detectado nível de iodo radioativo cinco milhões de vezes superior ao limite legal, enquanto o céσιο-137 apresentou índice 1,1 milhão de vezes maior. Uma amostra recolhida no início de segunda-feira, em uma área marinha próxima ao reator 2 de Fukushima, revelou uma concentração de iodo-131 de 200 mil becquerels por centímetro cúbico.

Se a mesma amostra fosse analisada, novamente, no dia 6 de maio de 2011, o valor obtido para a concentração de iodo-131 seria, aproximadamente, em  $\text{Bq}/\text{cm}^3$ ,

**Note e adote:** Meia-vida de um material radioativo é o intervalo de tempo em que metade dos núcleos radioativos existentes em uma amostra desse material decaem. A meia-vida do iodo-131 é de 8 dias.

- a) 100 mil.
- b) 50 mil.
- c) 25 mil.
- d) 12,5 mil.
- e) 6,2 mil.

19) O ano de 2017 marca o trigésimo aniversário de um grave acidente de contaminação radioativa, ocorrido em Goiânia em 1987. Na ocasião, uma fonte radioativa, utilizada em um equipamento de radioterapia, foi retirada do prédio abandonado de um hospital e, posteriormente, aberta no ferrolho para onde fora levada. O brilho azulado do pó de céσιο-137 fascinou o dono do ferrolho, que compartilhou porções do material

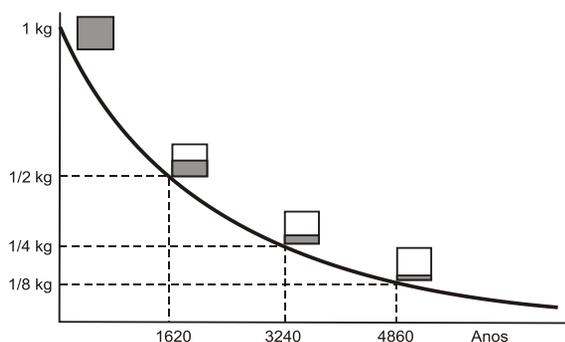
altamente radioativo com sua família e amigos, o que teve consequências trágicas. O tempo necessário para que metade da quantidade de céσιο-137 existente em uma fonte se transforme no elemento não radioativo bário-137 é trinta anos.

Em relação a 1987, a fração de céσιο-137, em %, que existirá na fonte radioativa 120 anos após o acidente, será, aproximadamente,

- a) 3,1.
- b) 6,3.
- c) 12,5.
- d) 25,0.
- e) 50,0.

20) O lixo radioativo ou nuclear é resultado da manipulação de materiais radioativos, utilizados hoje na agricultura, na indústria, na medicina, em pesquisas científicas, na produção de energia etc. Embora a radioatividade se reduza com o tempo, o processo de decaimento radioativo de alguns materiais pode levar milhões de anos.

Por isso, existe a necessidade de se fazer um descarte adequado e controlado de resíduos dessa natureza. A taxa de decaimento radioativo é medida em termos de um tempo característico, chamado meia-vida, que é o tempo necessário para que uma amostra perca metade de sua radioatividade original. O gráfico seguinte representa a taxa de decaimento radioativo do rádio-226, elemento químico pertencente à família dos metais alcalinos terrosos e que foi utilizado durante muito tempo na medicina.



De posse do gráfico em questão, qual será o tempo necessário para que a quantidade de rádio-226 em uma amostra radioativa composta

apenas por esse elemento decaia até que reste apenas 37,5% da quantidade de rádio-226 original?

- a) 1620 anos
- b) 2430 anos
- c) 3240 anos
- d) 4860 anos
- e) 5760 anos



## GABARITOS

- 1) D
- 2) B
- 3) D
- 4) A
- 5) C
- 6) A
- 7) B
- 8) B
- 9) C
- 10) E
- 11) A
- 12) D
- 13) B
- 14) D
- 15) B
- 16) B
- 17) C
- 18) D
- 19) B
- 20) B