



Ignéz Caracelli
ignez@ufscar.br



Ignéz
Caracelli

1



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Leis de Decaimento Radioativo

A taxa de decaimento radioativo (ou velocidade de decaimento) é medida em termos de um tempo característico, a meia-vida.

Meia-vida ($T_{1/2}$) é o tempo transcorrido para que a quantidade de um dado radioisótopo decaia à metade.

Ignéz
Caracelli

2



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Decaimento Radioativo: Exemplo

O rádio-226, por exemplo, tem meia-vida igual a $T_{1/2} = 1620$ anos.

Significa que a cada 1620 anos a quantidade de Ra-226 decai pela metade.

Ignez
Caracelli

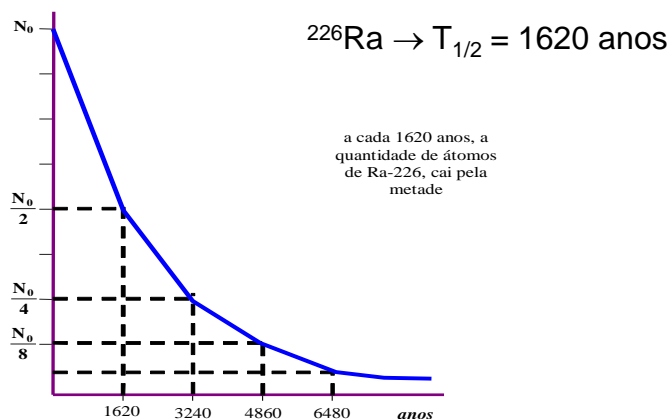
3



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Decaimento Radioativo: Exemplo



Ignez
Caracelli

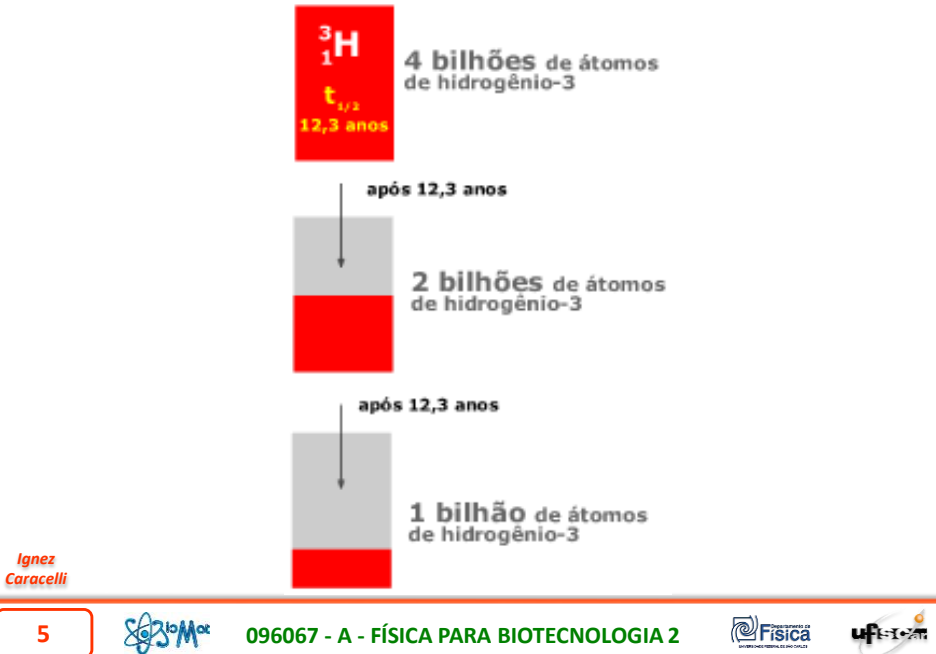
4



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Decaimento Radioativo: Exemplo



Decaimento Radioativo: meia-vida $T_{1/2}$

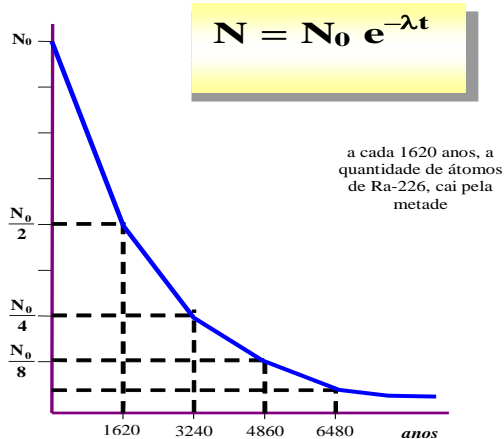
$$10^{-6} \text{ s} < T_{1/2} < \text{milhões de anos}$$

${}^{131}\text{I}$ (exame de funcionamento da tireóide) \rightarrow
 $T_{1/2} = 8$ dias;

${}^{14}\text{C}$ (estudo do metabolismo de proteínas, açúcares e gorduras) $\rightarrow T_{1/2} = 5760$ anos

Decaimento Radioativo: meia-vida $T_{1/2}$

- N_0 → número de átomos inicialmente presentes
- N → número de átomos que ainda não desintegraram após um tempo t
- λ → constante de desintegração / tempo
- cada isótopo possui uma λ característica



Ignez Caracelli

7



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Decaimento Radioativo: meia-vida $T_{1/2}$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \text{se } N = N_0/2$$

$$\ln \frac{1}{2} = (-\lambda T_{1/2})$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$\ln 2 = \lambda T_{1/2}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}}$$

$$0,693 = \lambda T_{1/2}$$

Ignez Caracelli

8



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Decaimento Radioativo: meia-vida $T_{1/2}$

$$0,693 = \lambda T_{1/2}$$

relação entre
constante de desintegração λ
e meia-vida $T_{1/2}$

Ignez
Caracelli

9



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Atividade A

atividade A

→ número de desintegrações dos núcleos dos átomos constituintes por unidade de tempo

→ velocidade de desintegração de seus átomos

A atividade de uma amostra radioativa num dado instante pode ser expressa por

$$A = \lambda N$$

relação entre constante de
desintegração λ e atividade A

Ignez
Caracelli

10



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Atividade A - Unidades

A atividade é expressa em unidades de s^{-1} .
O becquerel (Bq) = 1 decaimento / segundo
 $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$

1 curie (Ci) (originalmente) = atividade de 1 g
de rádio-226

$1 \text{ Ci} = 3,70 \times 10^{10} \text{ Bq}$

atividade (A)

$1 \text{ Bq} = 1 \text{ decaimento / segundo} \Rightarrow 1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$

$1 \text{ Ci} = 3,70 \times 10^{10} \text{ Bq}$

Ignez
Caracelli

11



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

Física



Intensidade da Radiação EM

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

- feixe monoenergético, que atravessa um material de espessura x e de coeficiente de atenuação linear μ

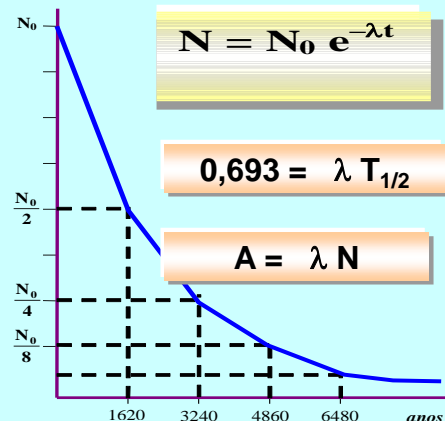
Ignez
Caracelli

12



096067 - A - FÍSICA P

Decaimento Radioativo



Equações

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \leftarrow \text{decaimento radioativo}$$

$$\text{decaimento da atividade} \rightarrow A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad \leftarrow \text{atenuação do fóton}$$

Ignez
Caracelli

13



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Exemplo

Calcule a constante de desintegração do ^{198}Au ,
cuja meia-vida é de 2,7 dias .

$$T_{1/2} = 2,7 \text{ d}$$

Ignez
Caracelli

14



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Exemplo

Calcule a constante de desintegração do ^{198}Au ,
cuja meia-vida é de 2,7 dias .

$$T_{1/2} = 2,7 \text{ d}$$

$$0,693 = \lambda T_{1/2}$$

constante de
desintegração

meia-vida

Ignez
Caracelli

15



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Exemplo

Calcule a constante de desintegração do ^{198}Au ,
cuja meia-vida é de 2,7 dias .

$$T_{1/2} = 2,7 \text{ d}$$

$$0,693 = \lambda T_{1/2}$$

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{2,7}$$

$$\lambda = 0,257 \text{ desintegrações/dia}$$

Ignez
Caracelli

16



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Exemplo

Calcule a constante de desintegração do ^{198}Au , cuja meia-vida é de 2,7 dias .

$$T_{1/2} = 2,7 \text{ d}$$

$$\lambda = 0,257 \text{ desintegrações/dia}$$

$$\lambda = 2,97 \times 10^{-6} \text{ desintegrações/s}$$

$$\lambda = 2,97 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

Ignez
Caracelli

17



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Exemplo

Calcule o número de átomos de ^{198}Au , após 12,15 dias, se inicialmente a amostra possuía 10^8 átomos.

$$T_{1/2} = 2,7 \text{ d}$$

$$\lambda = 0,257 \text{ desintegrações/dia}$$

Ignez
Caracelli

18



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Exemplo

Calcule o número de átomos de ^{198}Au , após 12,15 dias, se inicialmente a amostra possuía 10^8 átomos.

$$T_{1/2} = 2,7 \text{ d}$$

$$\lambda = 0,257 \text{ desintegrações/dia}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Ignez
Caracelli

19



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Exemplo

Calcule o número de átomos de ^{198}Au , após 12,15 dias, se inicialmente a amostra possuía 10^8 átomos.

$$T_{1/2} = 2,7 \text{ d}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$N = 10^8 \times e^{-(0,257 \text{ desintegrações/dia}) \times (12,15 \text{ dias})}$$

$$N = 10^8 \times e^{-3,123}$$

Ignez
Caracelli

20



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2





Fissão, Fusão, Energia



Ignéz Caracelli
ignez@ufscar.br



Ignéz
Caracelli

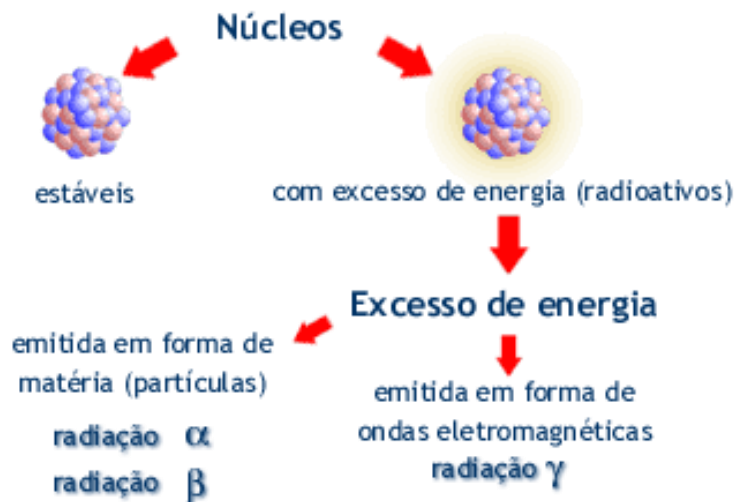
21



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Por que um átomo é radioativo?



Ignéz
Caracelli

22



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

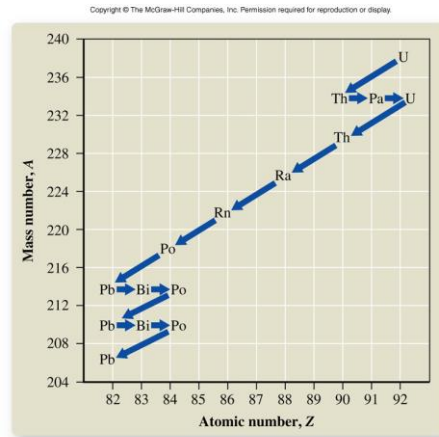


22



Séries de decaimento radioativo

- decaimentos α e β levam à estabilidade do núcleo.
- elementos 83 até 92.



Ignez
Caracelli

23



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Radioatividade Natural

Classificação dos núcleos:

- **naturais, instáveis**, encontrados na natureza; dão origem à radioatividade natural
- **artificiais**, produzidos em laboratório utilizando-se reações nucleares.

Há 3 séries de radioatividade natural

- Urânio
- Actínio
- Tório

Ignez
Caracelli

24



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

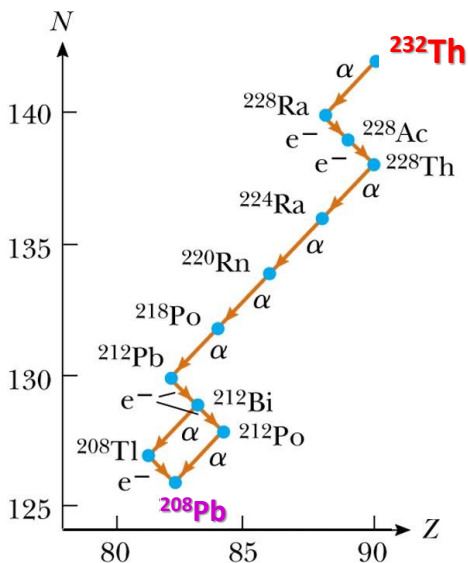


Serie de Decaimento Radioativo do ^{232}Th

A série inicia com ^{232}Th

Ocorre uma série de decaimentos α e β

A série finaliza com o isótopo do chumbo, ^{208}Pb



Ignez Caracelli

25



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Série Radioativa do ^{235}U



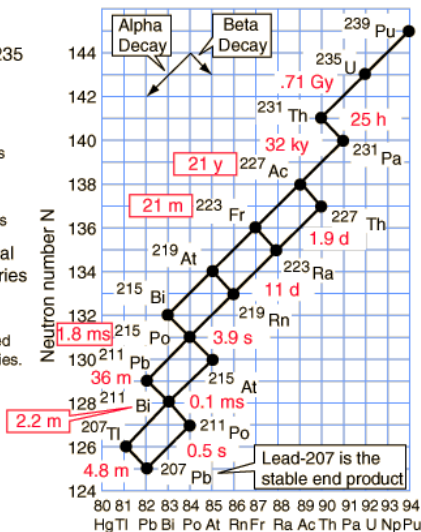
The Uranium-235 Decay Series

- ^{235}U Series
- ^{232}Th Series
- ^{238}U Series
- ^{237}Np Series

The four natural radioactive series

This series is traditionally called the Actinium series.

Boxed values for half-life are for multiple decay paths



Ignez Caracelli

26



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Series Radioativas naturais



Todos os elementos com $Z > 84$; parte dos que têm $81 < Z < 83$ e os isótopos radioativos com $Z < 81$.

série do urânio $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} (4n + 2)$

série do tório $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} (4n)$

série do actínio $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb} (4n + 3)$

Ignez
Caracelli

27



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

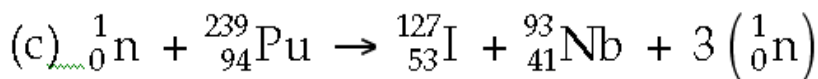
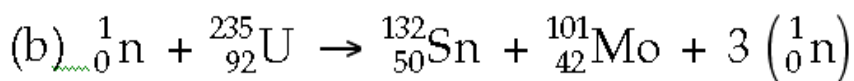
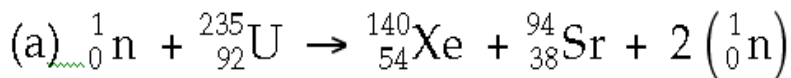
Física



Pergunta



Quais das seguintes reações são possíveis?



(a) e (b). Nas reações (a) e (b) há conservação da carga e da massa. A reação (c) viola a conservação do número de massa

Ignez
Caracelli

28



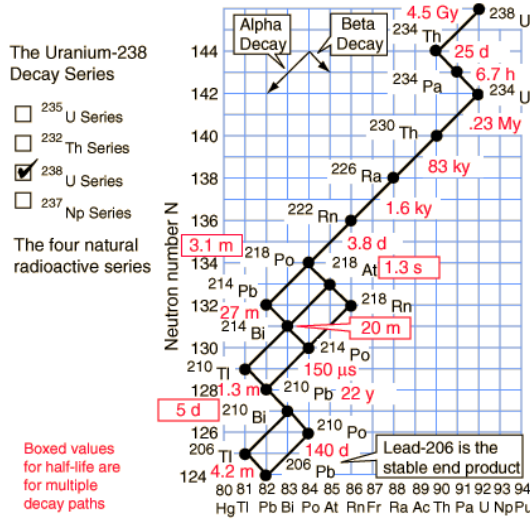
096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

Física

28



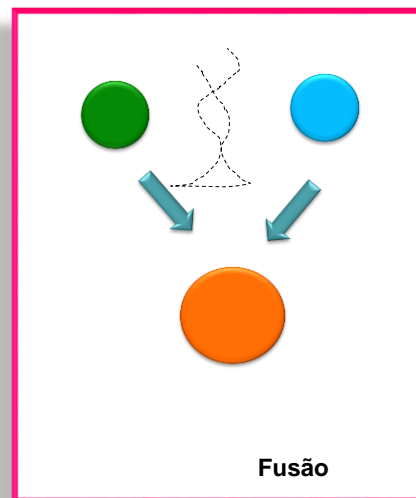
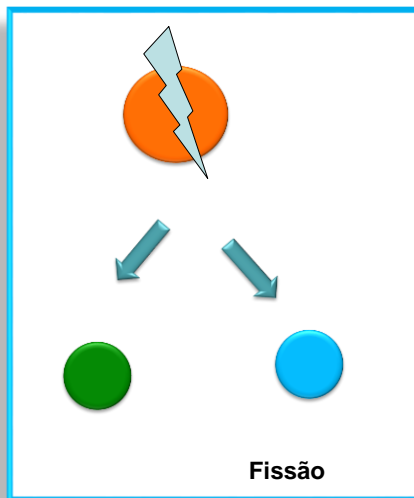
Série Radioativa do ^{238}U



Ignez Caracelli



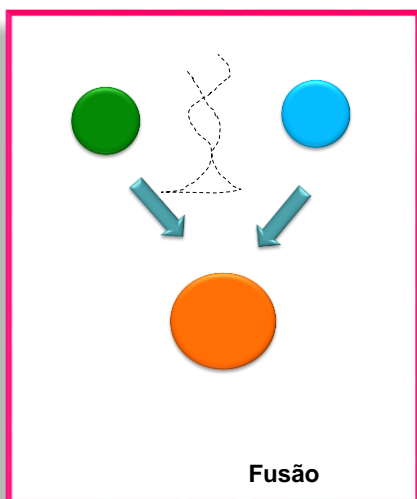
Fissão & Fusão



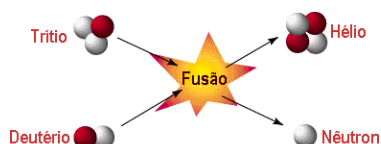
Ignez Caracelli



Fusão Nuclear



A principal reação de fusão que ocorre no interior do Sol. A reação que ocorre mais facilmente é aquela em que o deutério se funde com o trítio produzindo uma partícula alfa e um nêutron



Ignez
Caracelli

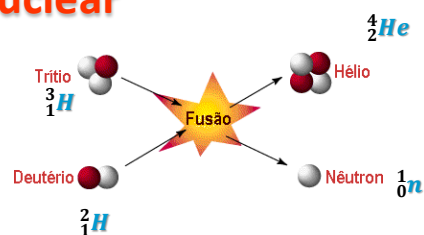
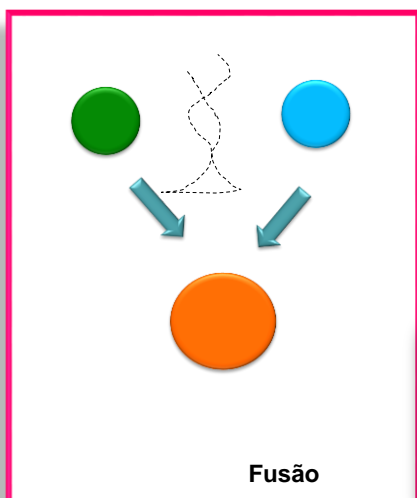
31



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Fusão Nuclear



N é o número de nêutrons no núcleo
A é o número de massa dos núcleons
 no núcleo

$$A = Z + N$$



Ignez
Caracelli

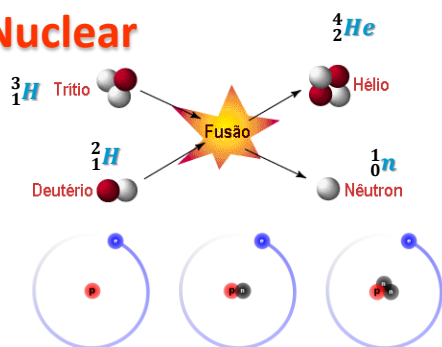
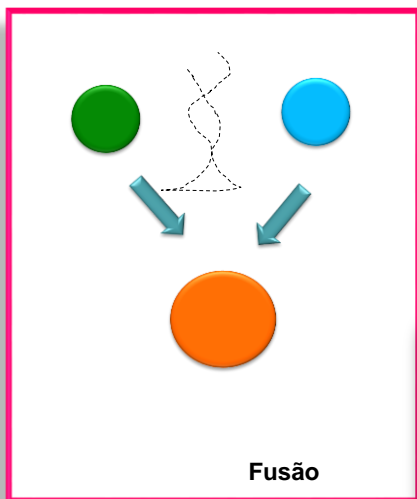
32



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Fusão Nuclear



N é o número de nêutrons no núcleo
A é o número de massa dos núcleons no núcleo
A = Z + N

$$\begin{matrix} A \\ Z \\ X \end{matrix}$$

Ignez Caracelli

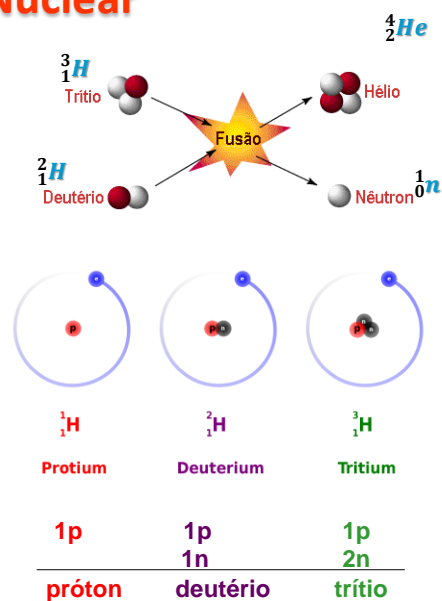
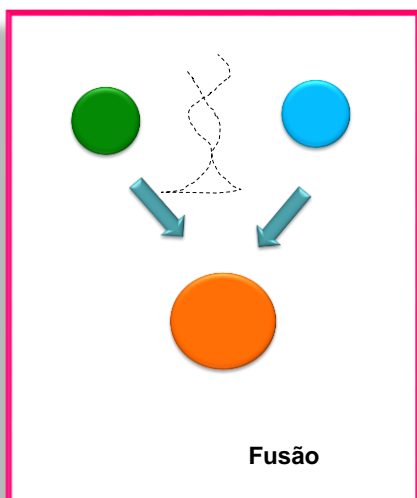
33



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Fusão Nuclear



Ignez Caracelli

34

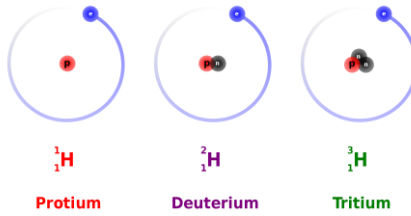


096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Isótopos do Hidrogênio

Z	Nome	Símbolo	Período de semidesintegração (tempo de meia-vida)	Tipo de decaimento
1	Hidrogênio	${}^1\text{H}$	isótopo estável	–
	Deutério	${}^2\text{H}$	isótopo estável	–
	Trítio	${}^3\text{H}$	$(12,312 \pm 0,025)$ anos	β^- (100%)



Ignez Caracelli

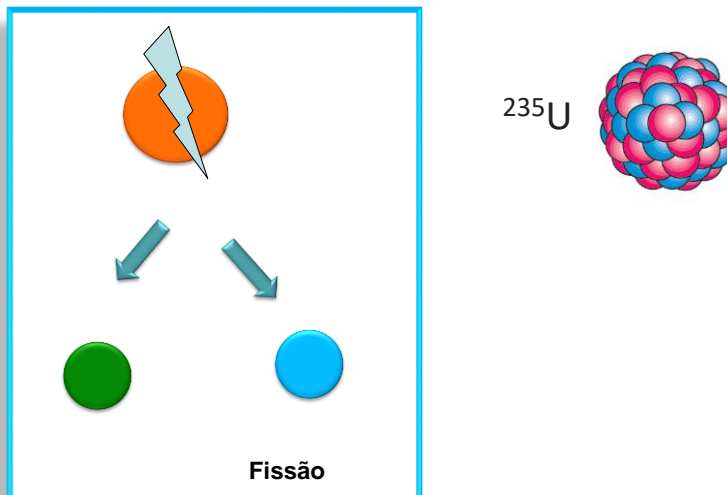
35



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Fissão Nuclear



Ignez Caracelli

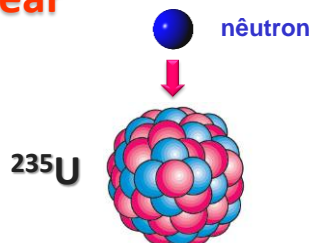
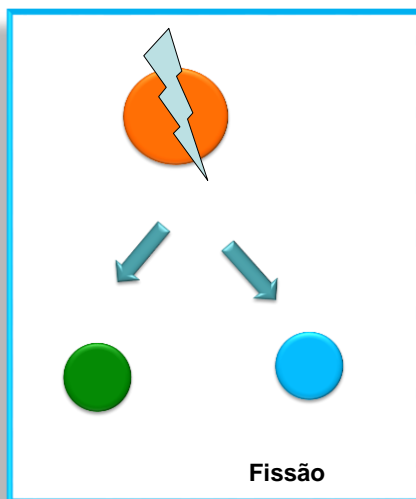
36



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Fissão Nuclear



O núcleo se torna instável

O núcleo se vibra e se divide

Essa divisão é a fissão

Ignez
Caracelli

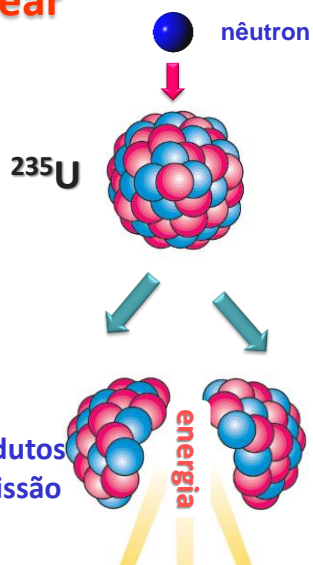
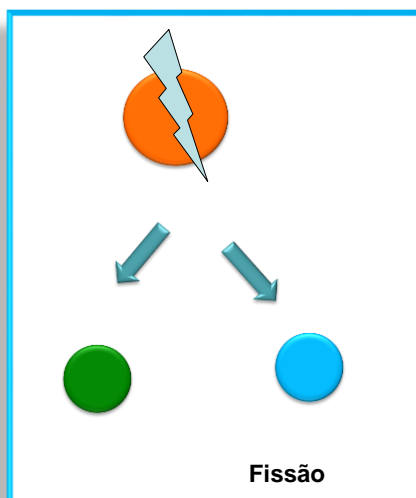
37



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Fissão Nuclear



Ignez
Caracelli

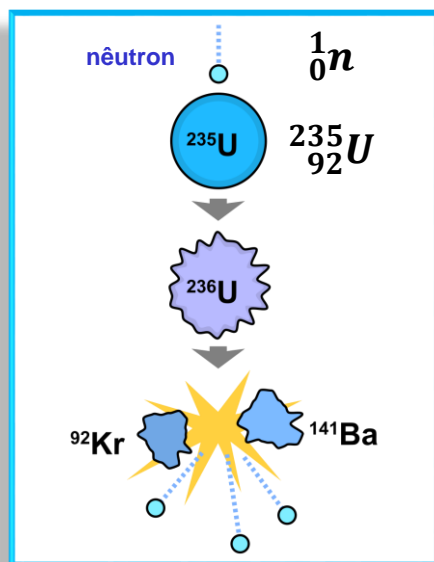
38



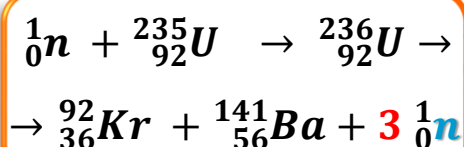
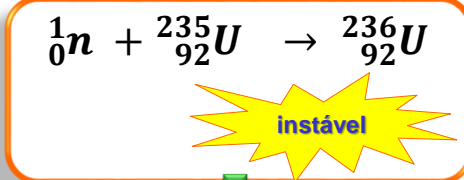
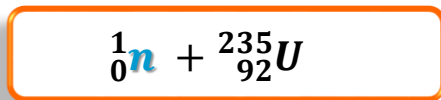
096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Fissão do U-235



Caracelli



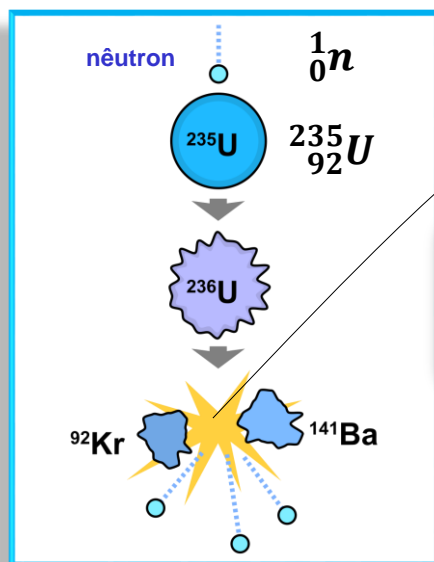
39



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



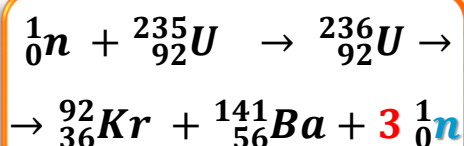
Fissão do U-235



Caracelli

+ energia

A fissão de um átomo de Urânio-235 gera 202.5 MeV = 3.24×10^{-11} J, ou seja 19.54 TJ/mol, ou 83.14 TJ/kg



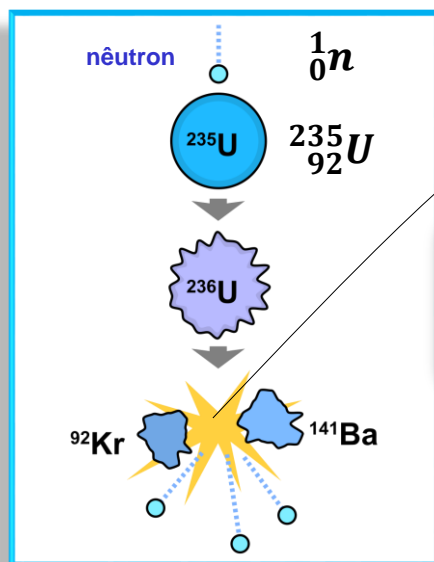
40



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

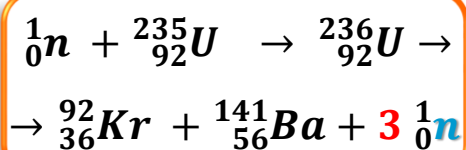


Fissão do U-235



+ energia

A fissão de um átomo de Urânio-235 gera 202.5 MeV = 3.24×10^{-11} J, ou seja 19.54 TJ/mol, ou 83.14 TJ/kg



ignez Caracelli

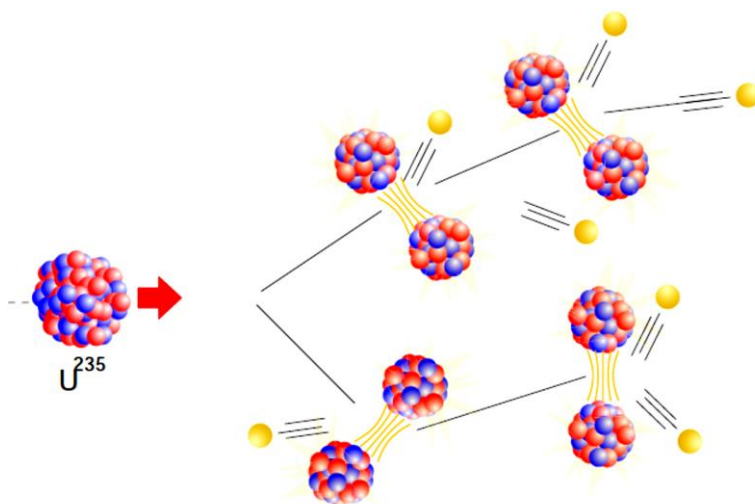
41



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Reação em cadeia



ignez Caracelli

42



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Urânio



Ignez
Caracelli

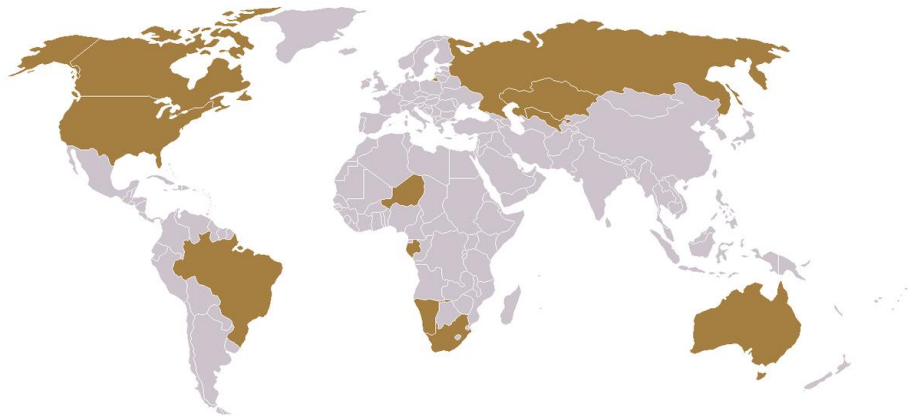
43



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Países produtores de Urânio



Ignez
Caracelli

44



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Reservas brasileiras de Urânio



Ignez
Caracelli

45



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Enriquecimento de Urânio

Urânio enriquecido é o urânio cujo teor de ^{235}U (urânio-235) foi aumentado por meio de um processo de separação de isótopos.



Ignez
Caracelli

46



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Enriquecimento de Urânio

O urânio encontrado na natureza, sob a forma de **dióxido de urânio** (UO_2), contém 99,284% do **isótopo** ^{238}U ; apenas 0,711% do seu **peso** é representado pelo isótopo ^{235}U . Porém o ^{235}U é o único isótopo existente **físsil** na natureza em proporções significativas.

99,284% do isótopo ^{238}U

0,711% do isótopo ^{235}U

Ignez
Caracelli

47



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Enriquecimento de Urânio

O urânio encontrado na natureza, sob a forma de **dióxido de urânio** (UO_2), .

99,284% do isótopo ^{238}U

0,711% do isótopo ^{235}U

^{235}U

único isótopo
existente **físsil** na natureza

Ignez
Caracelli

48



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Enriquecimento de Urânio

O urânio encontrado na natureza, sob a forma de dióxido de urânio (UO_2), .

99,284% do isótopo ^{238}U

0,711% do isótopo ^{235}U

^{235}U

único isótopo

existente físsil na natureza

Ignez
Caracelli

49



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Enriquecimento de Urânio

Para provocar uma reação de fissão nuclear nos reatores de água pressurizada (PWR), é preciso dispor de um urânio que contenha entre 3% e 5% do isótopo ^{235}U e em armas nucleares pelo menos 80% de enriquecimento, o aconselhável para armas nucleares porem é 90%.

Ambos os isótopos, ^{235}U e ^{238}U , têm as mesmas propriedades químicas. A única diferença física entre eles são os três nêutrons que explicam uma pequena diferença de massa atômica.

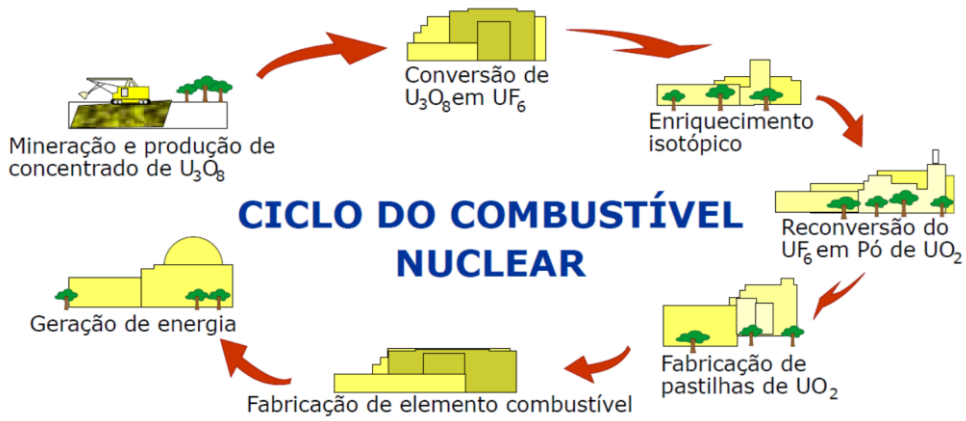
Ignez
Caracelli

50



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2





Ignez Caracelli

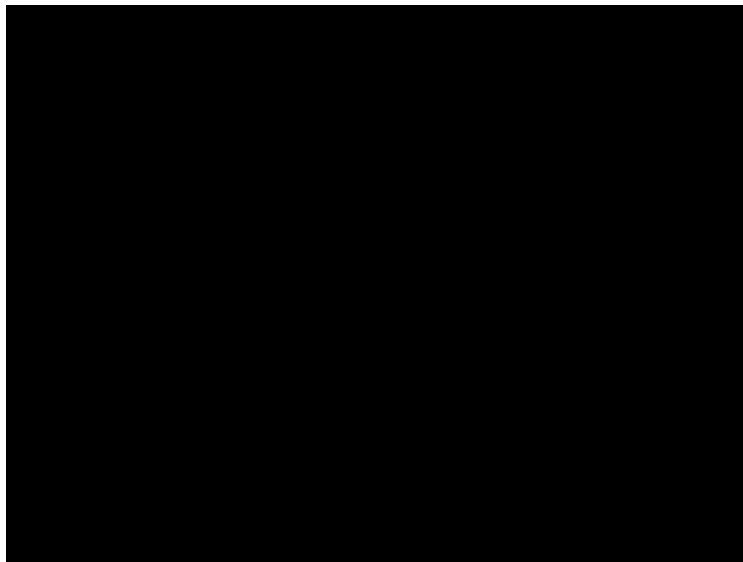
51



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Processamento de Urânio



Ignez Caracelli

https://youtu.be/eWV1JVrR_oU?t=6

52



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Energias renováveis ou não

Fontes de energia renováveis:

Fontes de energia inesgotáveis ou que podem ser repostas a curto ou médio prazo, espontaneamente ou por intervenção humana.

Exemplos de Fontes de Energias **Renováveis**:

- Energia Hídrica;
- Energia Eólica;
- Energia Solar;
- Energia Geotérmica;
- Energia das Ondas e Marés;
- Energia da Biomassa.

Exemplos de Fontes de Energias **não Renováveis**:

- Energia Do Carvão;
- Energia do Petróleo;
- Energia do Gás Natural;
- Energia do Urânio.

Ignez
Caracelli

53



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Matriz Energética

Matriz energética é

toda **energia** disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos,

é uma representação quantitativa da oferta de **energia**, ou seja, da quantidade de recursos **energéticos** oferecidos por um país ou por uma região.

Ignez
Caracelli

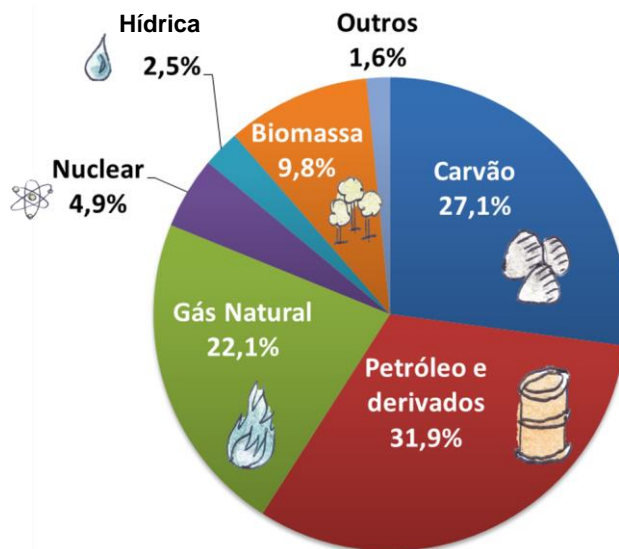
54



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Matriz Energética Mundo



<http://epe.gov.br/pt/abcedenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

Ignez Caracelli

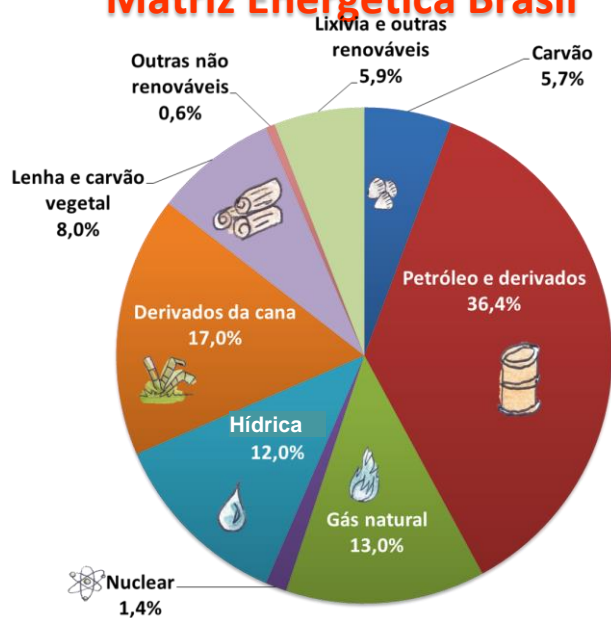
55



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Matriz Energética Brasil



<http://epe.gov.br/pt/abcedenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

Ignez Caracelli

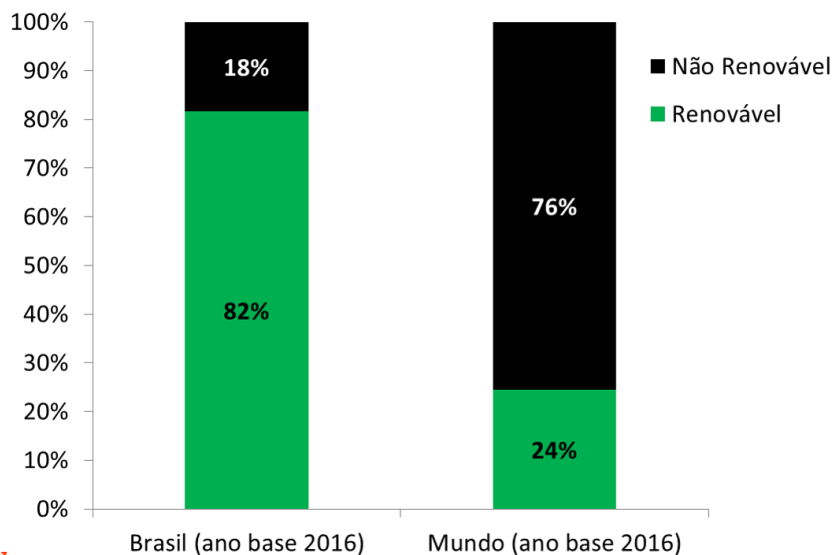
56



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Energia: Brasil X Mundo



Ignez Caracelli

<http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

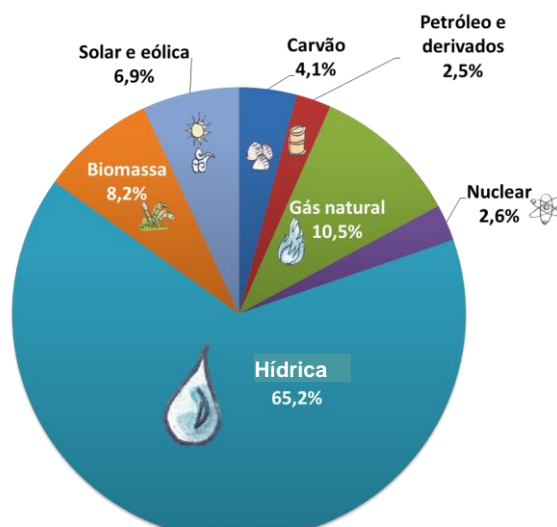
57



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Energia Elétrica: Brasil



Ignez Caracelli

Matriz Elétrica Brasileira 2017 (BEN, 2018)

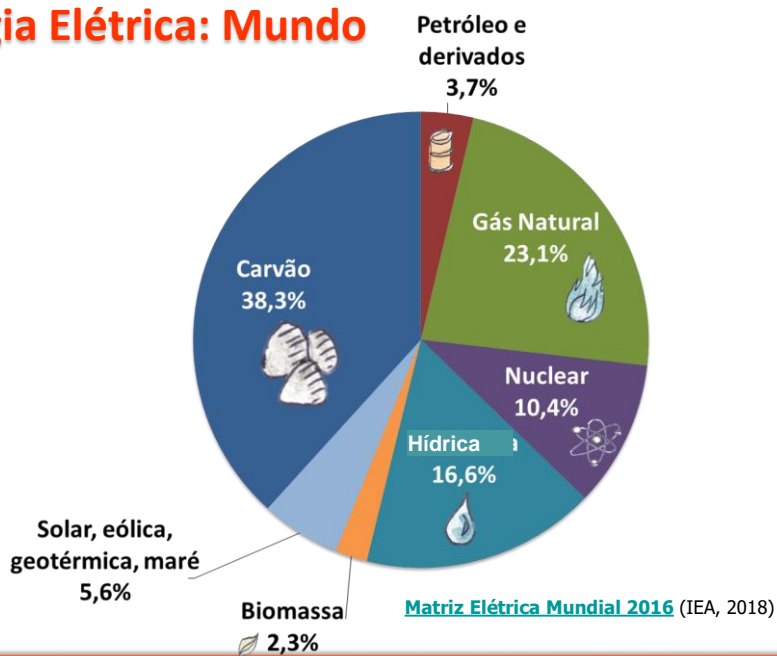
58



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Energia Elétrica: Mundo



Ignez Caracelli

59



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2



Referências

<http://www.cnem.gov.br/orientacoes/2-uncategorised/128-apostilas-educativas>

[A Energia Nuclear e o Planejamento Energético](#)

[Aplicações da Energia Nuclear na Saúde](#)

[Aplicações da Energia Nuclear](#)

[História da Energia Nuclear](#)

[Radiações Ionizantes](#)

[Energia Nuclear e suas Aplicações \(Infanto-Juvenil\)](#)

[Reator Multipropósito Brasileiro - Folder](#)

[Reator Multipropósito Brasileiro - Painéis](#)

Ignez Caracelli

60



096067 - A - FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 2

