



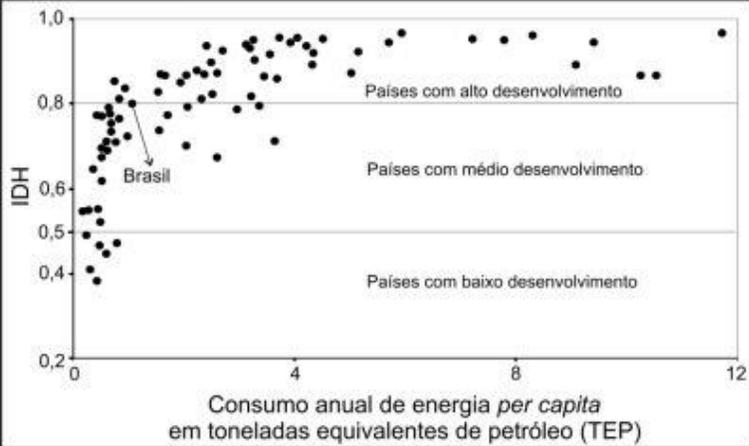
**LAS – ANS 2016**

# **Energia nuclear e proteção ambiental**

**Sophia Vergueiro  
Suzyllaine Lima  
Caroline Lucchi  
Miguel Vasconcelos  
Alexandre Ramos  
alex.ramos@usp.br**

**Universidade de São Paulo**

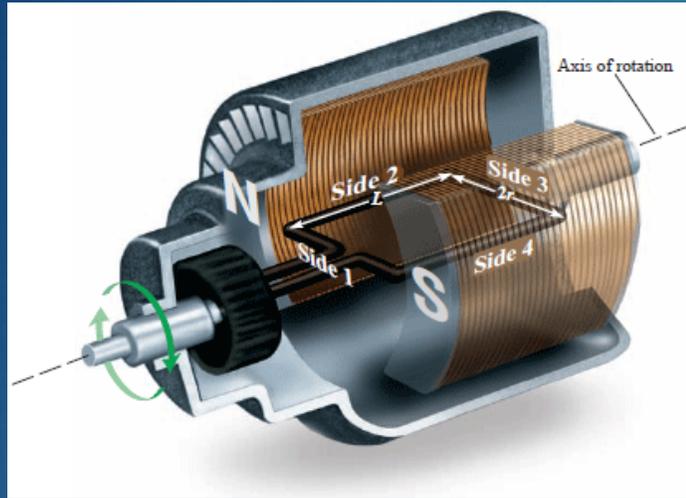
# Eletricidade e civilização



Fontes: Agência Internacional de Energia - consumo de energia de 2003;  
Organização das Nações Unidas - IDH de 2005.

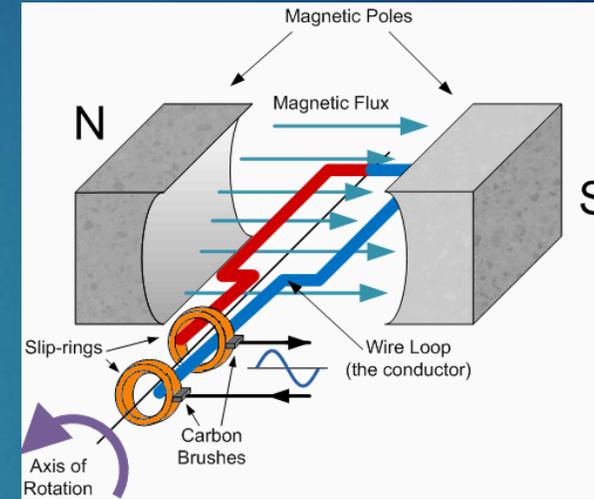


# Gerando eletricidade



A Lei de Lenz:

$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t}$$



# Limites termodinâmicos



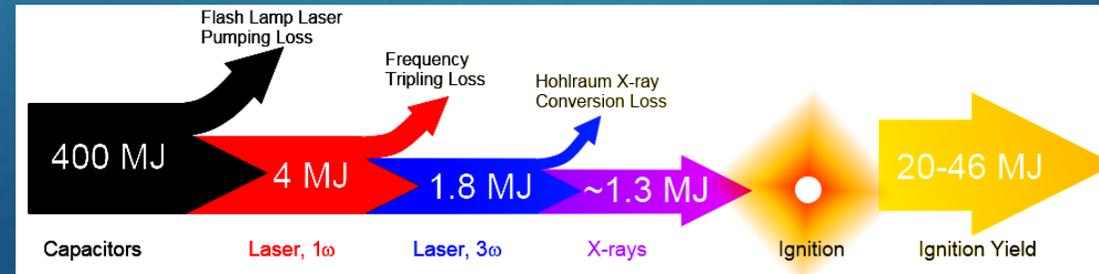
Um sistema finito



1ª Lei:  $\Delta E = Q + W$  Parte da energia é dissipada em forma de calor.

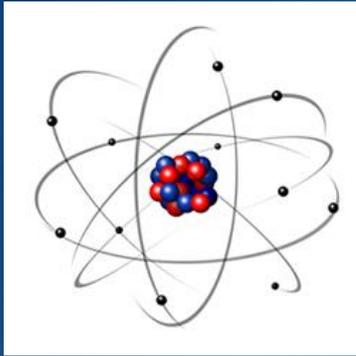
2ª Lei:  $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \geq 0$  para qualquer processo transformando a matéria.

Processos de transferência energética têm dissipação



# Interações fundamentais: modelo padrão

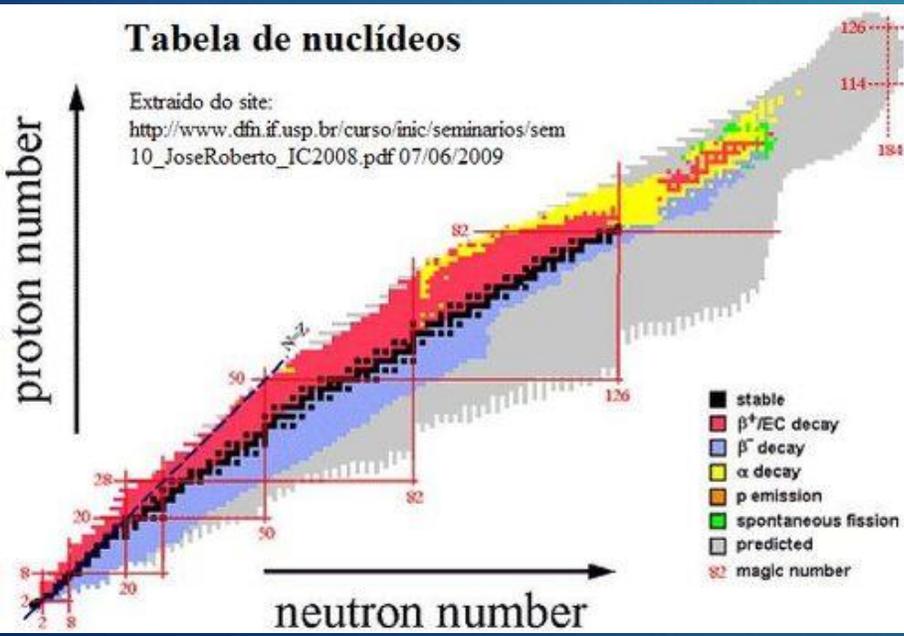
## Estrutura atômica



## Estabilidade nuclear

### Tabela de nuclídeos

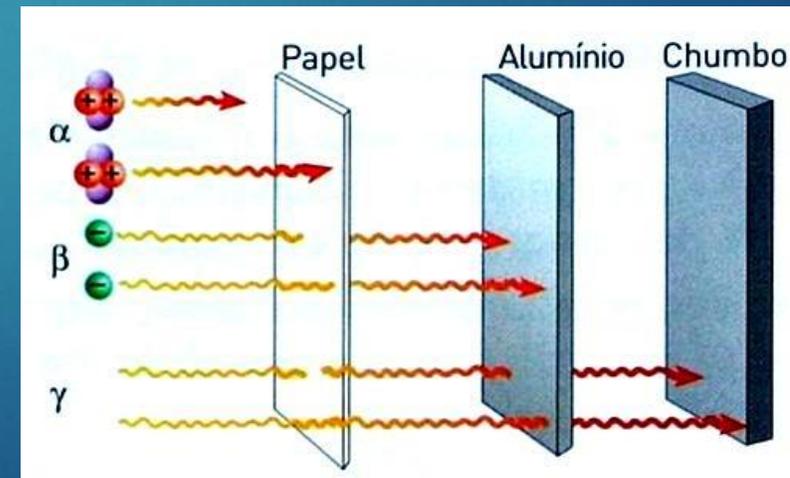
Extraído do site:  
[http://www.dfn.if.usp.br/curso/inic/seminarios/sem10\\_JoseRoberto\\_IC2008.pdf](http://www.dfn.if.usp.br/curso/inic/seminarios/sem10_JoseRoberto_IC2008.pdf) 07/06/2009



## Acoplamentos fundamentais

Interação	Intensidade relativa
Nuclear forte	1
Eletromagnética	$10^{-2}$
Nuclear fraca	$10^{-5}$
Gravitacional	$10^{-39}$

## Tipos de radiação



# Reações nucleares e químicas

Reações químicas: interações entre elétrons.

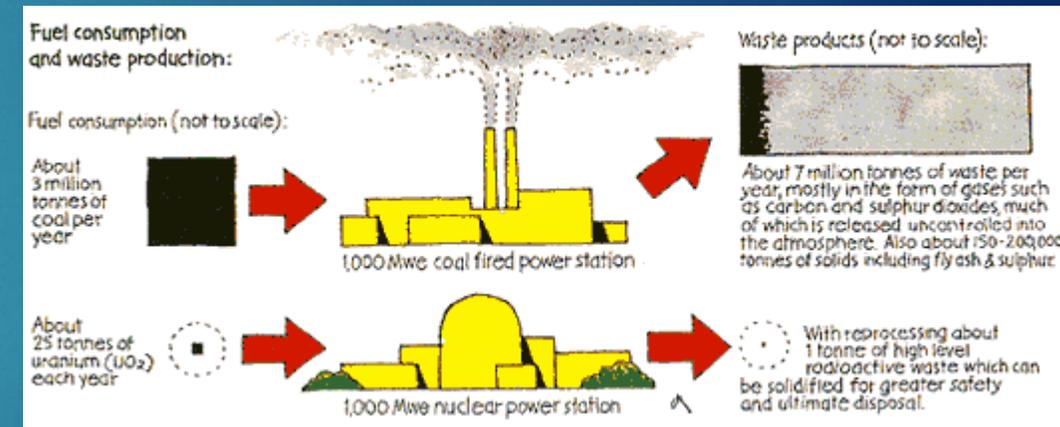
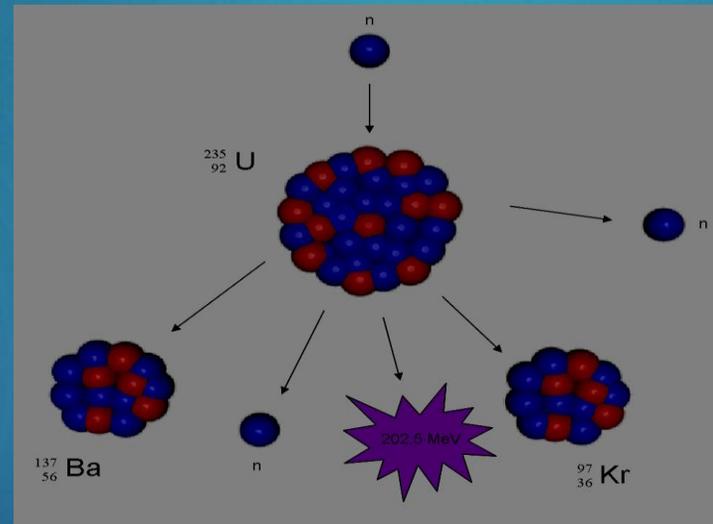
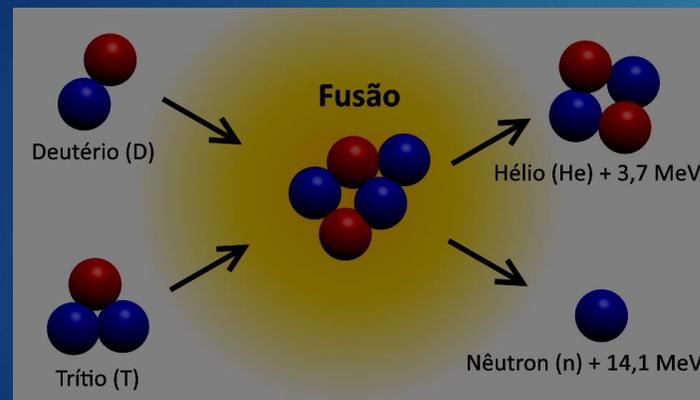
Reações nucleares: interações entre componentes nucleares

Combustão:  $C + O_2 \rightarrow CO_2 + \approx 10 \text{ eV}$  ; Fissão do Urânio, e. g. :  $n + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{137}_{56}\text{Ba} + {}^{97}_{36}\text{Kr} + 3n + \approx 200 \text{ MeV}$

## Fusão

## Fissão

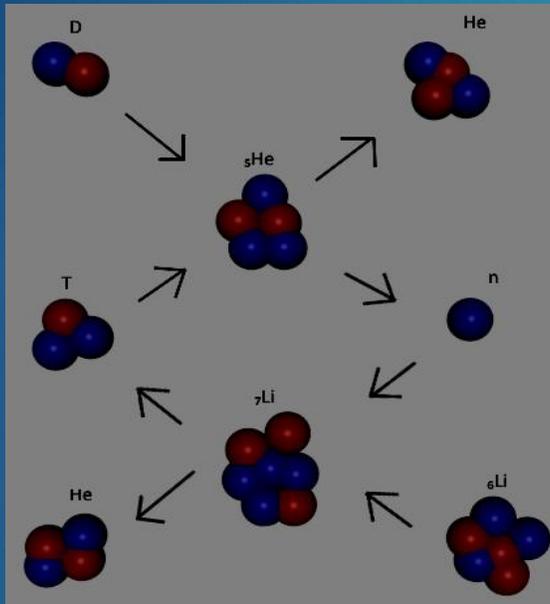
## Na prática:



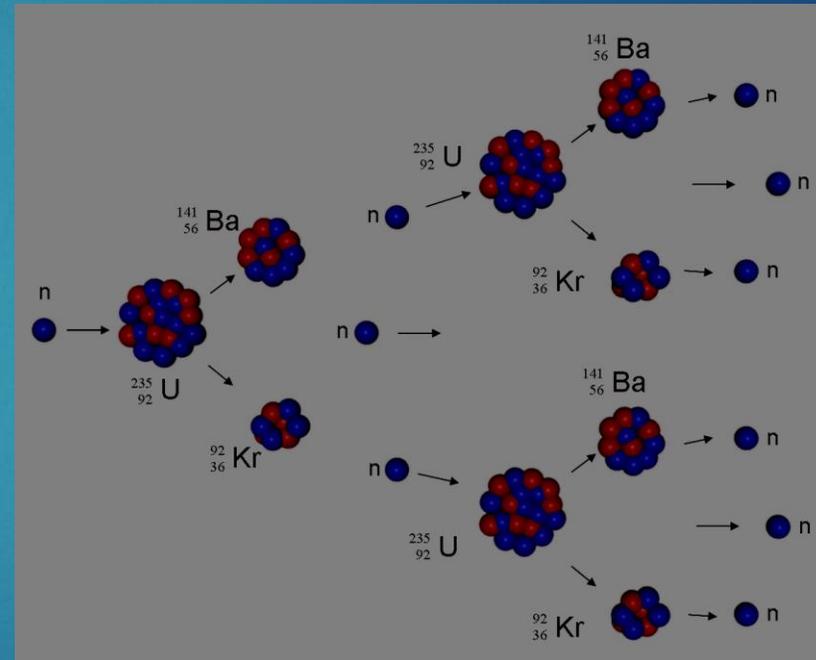
1. Cada reação de fissão do urânio libera 20 milhões de vezes mais energia que a combustão do carvão.
2. Isso possibilita redução no impacto da mineração, de consumo de combustível e produção de resíduo.
3. Não libera  $CO_2$ .

# Reações em cadeia

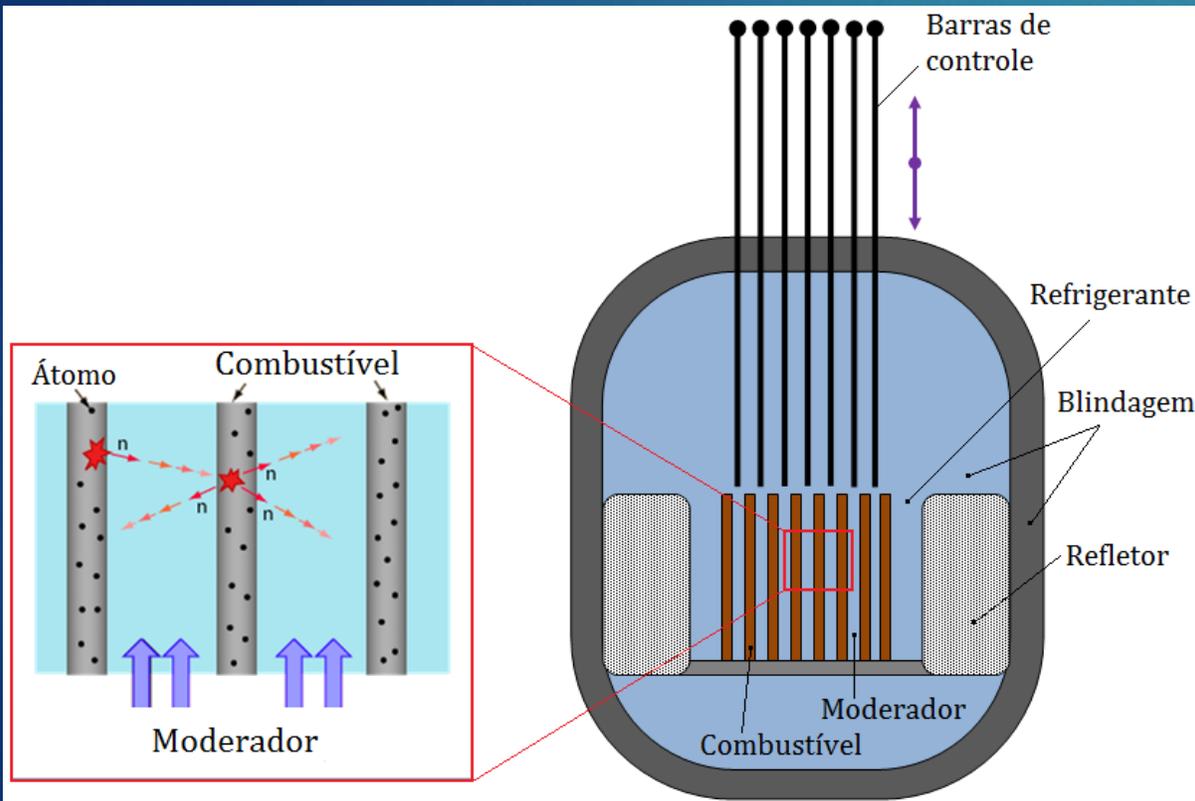
## Fusão



## Fissão



# Estrutura básica de um reator



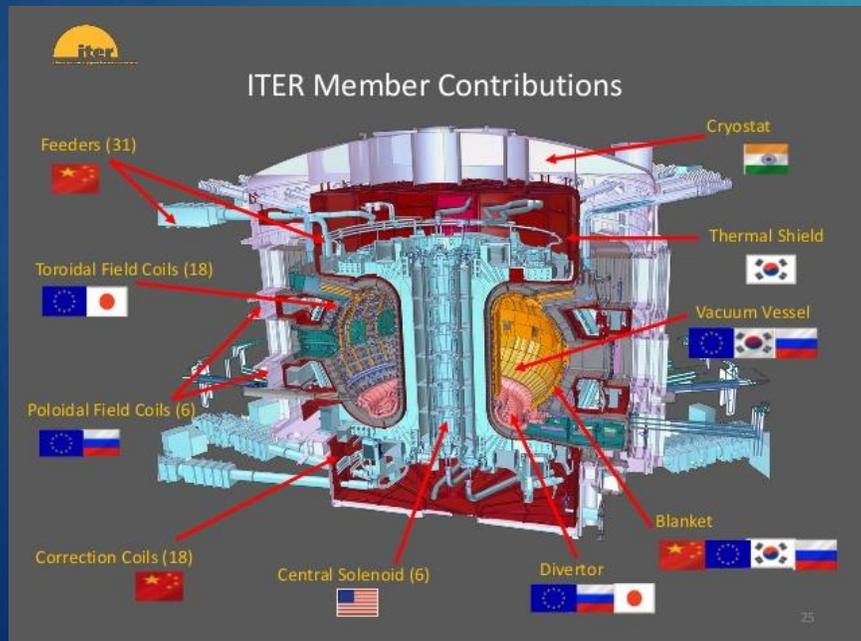
Elemento	Função
Combustível	Contém os materiais físeis/férteis em que se produzirão as reações de fissão em cadeia.
Refrigerante	Retirar o calor gerado nas fissões ocorridas no reator.
Moderador	Desacelerar os nêutrons de fissão, tornando-os térmicos, e maximizam as chances de ocorrência de novas reações de fissão.
Refletor	Fazer a contenção dos nêutrons, para que retornem ao núcleo do reator.
Blindagem	Formar uma barreira que confina a radiação ao interior do reator, isolando-o e protegendo-o do ambiente externo.
Absorvedor (controlador)	Absorver nêutrons livres no reator e, assim controla a taxa de reações nucleares no reator.

# Combustível irradiado

- ▶ Reator de 1 MWe produz da ordem de 3,3 kg de produtos de fissã/dia – 1.200 kg/ano;
- ▶ Isso corresponde a um volume estimado em 0,12 m<sup>3</sup>/ano: equivale a um cubo de 0,5 m de aresta;
- ▶ Permanece uma quantidade de material radioativo que permanece ativo e gerando calor;
- ▶ Portanto o resíduo deve ser blindado e preservando em resfriamento;
- ▶ A vantagem: todo o combustível irradiado é catalogado e armazenado no mesmo lugar.

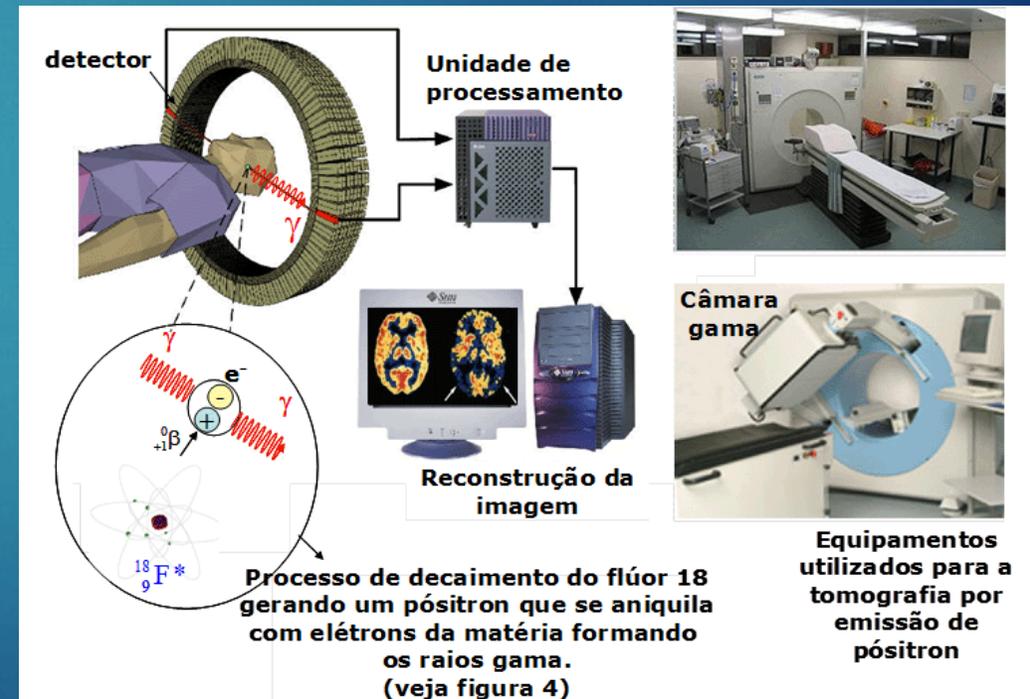
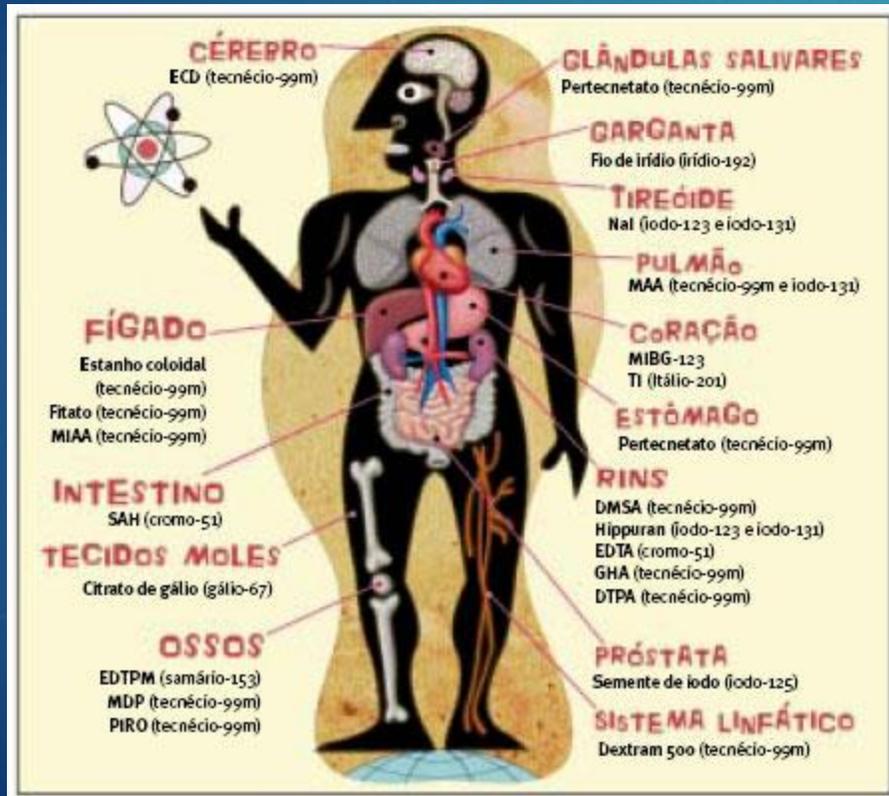
# Perspectivas para o futuro: fusão nuclear

- ▶ Aplicações em medicina: produção de radiofármacos;
- ▶ Tratamento de rejeitos – reatores híbridos fusão-fissão;
- ▶ Produção de eletricidade – reatores híbridos e/ou de fusão.



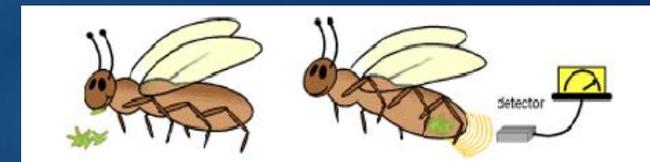
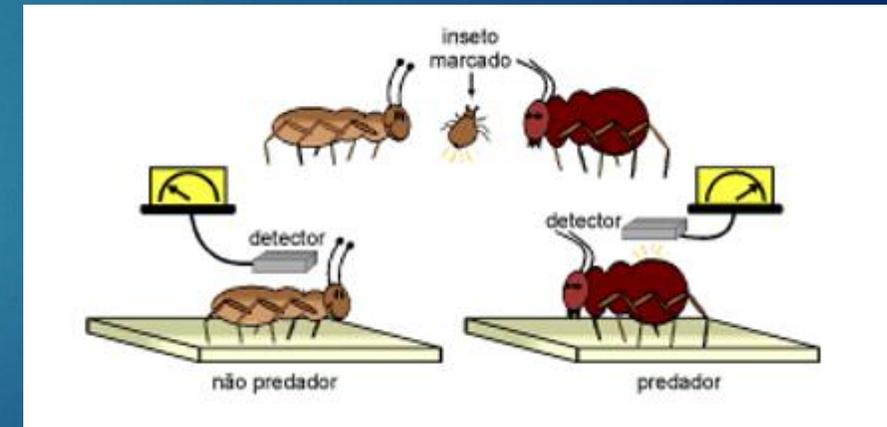
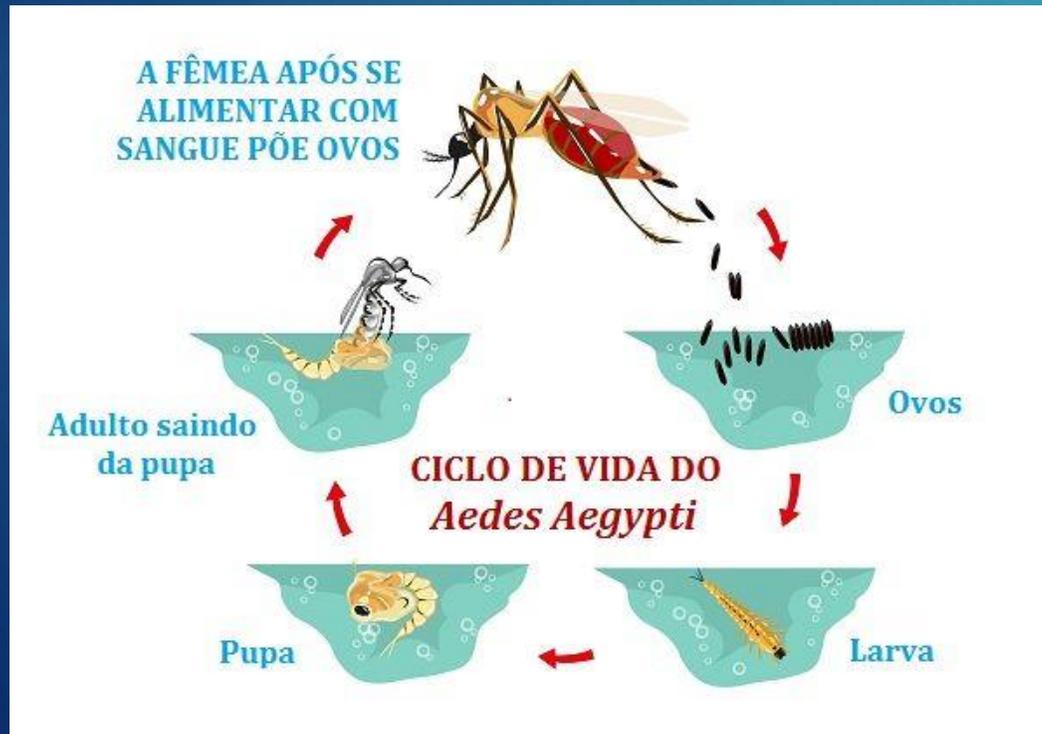
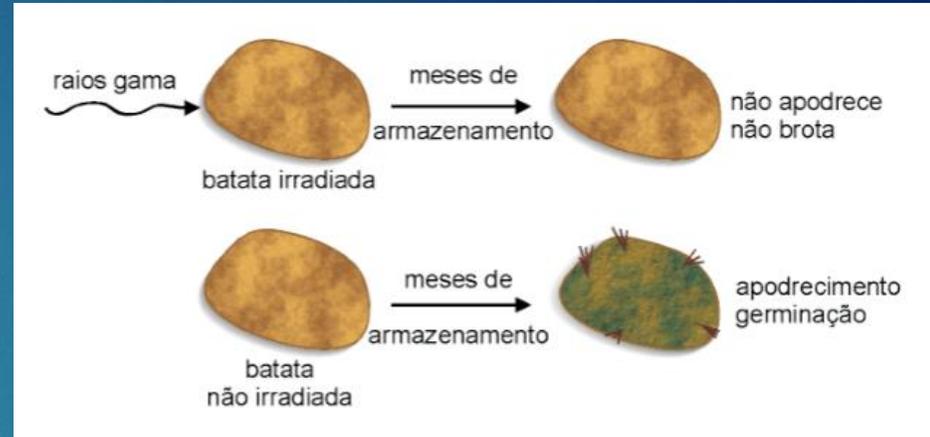
# Aplicações à saúde

- ▶ Radiofármacos para sistemas diagnósticos
- ▶ Radioatividade para tratamentos



# Aplicações em agricultura

- ▶ Conservação de alimentos
- ▶ Eliminação de pragas
- ▶ Comportamento de insetos
- ▶ Da agricultura à saúde pública: a técnica do inseto estéril na eliminação do *Aedes Aegypti*



# Doses de radiação

Altas doses: efeitos determinísticos.

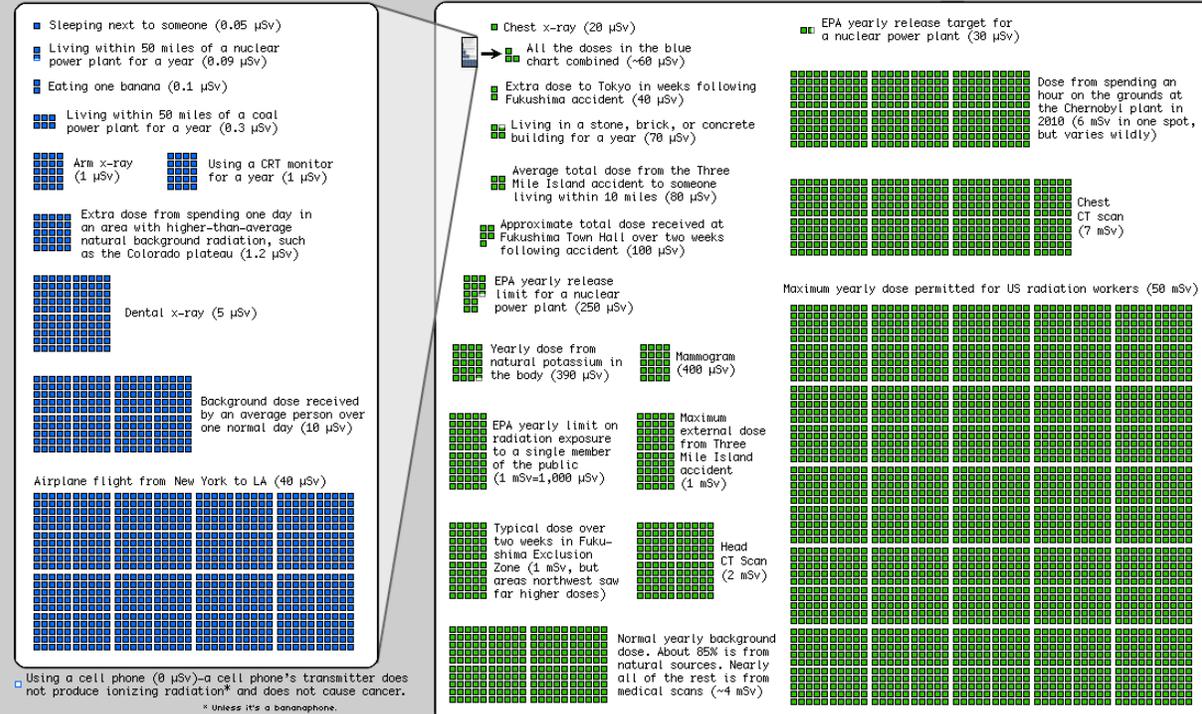
FORMA	DOSE ABSORVIDA	SINTOMATOLOGIA
Infraclínica	Inferior a 1 Gy	Ausência de sintomatologia na maioria dos indivíduos
Reações gerais leves	1-2 Gy	Astenia*, náuseas, vômitos (3 a 6 horas após a exposição)
Hematopoiética leve	2- 4 Gy	Função medular atingida: linfopenia, leucopenia, trombopenia**, anemia
Hematopoiética grave	4-6 Gy	Função medular gravemente atingida
Gastrointestinal	6-7 Gy	Diarréia, vômitos, hemorragias (morte em 5 ou 6 dias)
Pulmonar	8-9 Gy	Insuficiência respiratória aguda, coma e morte entre 14 e 36 horas.
Cerebral	Superior a 10 Gy	Morte em poucas horas por colapso

Fonte: Apostila "Radiações ionizantes e a vida"

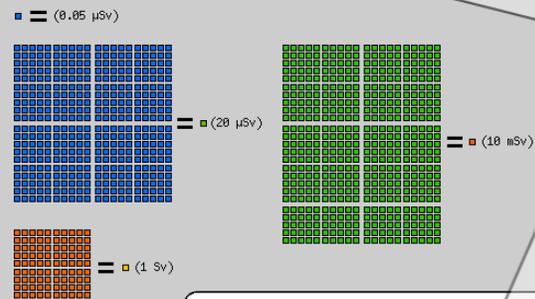
Baixas doses: efeitos estocásticos associados a câncer e eventualmente genéticos se o sistema de reparo do DNA não funcionar corretamente. Trasmissão às próximas gerações somente se células germinativas são afetadas.

# Radiation Dose Chart

This is a chart of the ionizing radiation dose a person can absorb from various sources. The unit for absorbed dose is "sievert" (Sv), and measures the effect a dose of radiation will have on the cells of the body. One sievert (all at once) will make you sick, and too many more will kill you, but we safely absorb small amounts of radiation daily. Note: The same number of sieverts absorbed in a shorter time will generally cause more damage, but your cumulative long-term dose plays a big role in things like cancer risk.



Using a cell phone (0 µSv)—a cell phone's transmitter does not produce ionizing radiation\* and does not cause cancer. \* Unless it's a bananaphone.



Ten minutes next to the Chernobyl reactor core after explosion and meltdown (50 Sv)

SOURCES:

- <http://www.nrc.gov/readingrm/doc-collections/cfr/part020/>
- <http://www.nrc.gov/tech/regaffairs/dose-effects.html>
- [http://www.deq.idaho.gov/inl\\_oversight/radiation/dose\\_calculator.cfm](http://www.deq.idaho.gov/inl_oversight/radiation/dose_calculator.cfm)
- [http://www.deq.idaho.gov/inl\\_oversight/radiation/radiation\\_guide.cfm](http://www.deq.idaho.gov/inl_oversight/radiation/radiation_guide.cfm)
- <http://mitse.com/>
- [http://www.bnl.gov/bnlweb/PDF/0328P/Chapter\\_8.pdf](http://www.bnl.gov/bnlweb/PDF/0328P/Chapter_8.pdf)
- [http://dels-old.nas.edu/dels/rpt\\_briefs/verf\\_final.pdf](http://dels-old.nas.edu/dels/rpt_briefs/verf_final.pdf)
- <http://people.reed.edu/~ememmis/radiation.html>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Sievert>
- <http://blog.foxnews.com/2010/07/16/into-the-zone-chnobyl-prigoda/>
- <http://www.nrc.gov/readingrm/doc-collections/ract-sheets/tritium-radiation-fs.html>
- [http://www.mst.gov.jp/component/a\\_menu/other/detail/\\_icsfiles/afidfile/2011/03/18/1303727\\_1716.pdf](http://www.mst.gov.jp/component/a_menu/other/detail/_icsfiles/afidfile/2011/03/18/1303727_1716.pdf)
- <http://radiology.yimg.com/content/248/1/254>

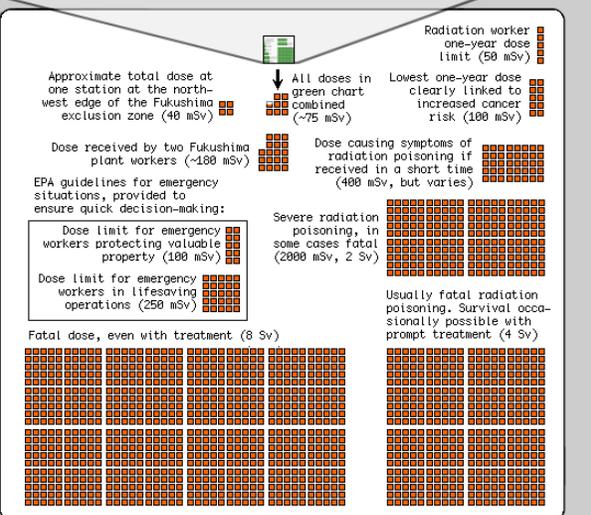


Chart by Randall Munroe, with help from Ellen, Senior Reactor Operator at the Reed Research Reactor, who suggested the idea and provided a lot of the sources. I'm sure I've added in lots of mistakes; it's for general education only. If you're basing radiation safety procedures on an internet PNG image and things go wrong, you have no one to blame but yourself.

# Acidentes nucleares: Chernobyl e Fukushima

## ▶ Chernobyl

- ▶ 28 mortes por efeitos imediatos de radiação e 19 entre 1987 e 2004 de outras causas não necessariamente ligadas à radiação. Ao menos 4.000 casos de câncer de tireóide em indivíduos que tinham até 18 anos à época. 400.000 evacuados. Fortíssimo impacto psicológico nessa população que se considera estigmatizada por ter recebido doses de radiação devidas ao acidente. Reator acidentado confinado no sarcófago. Região de raio de 30km em torno do reator sem presença humana tornou-se um santuário da vida selvagem.



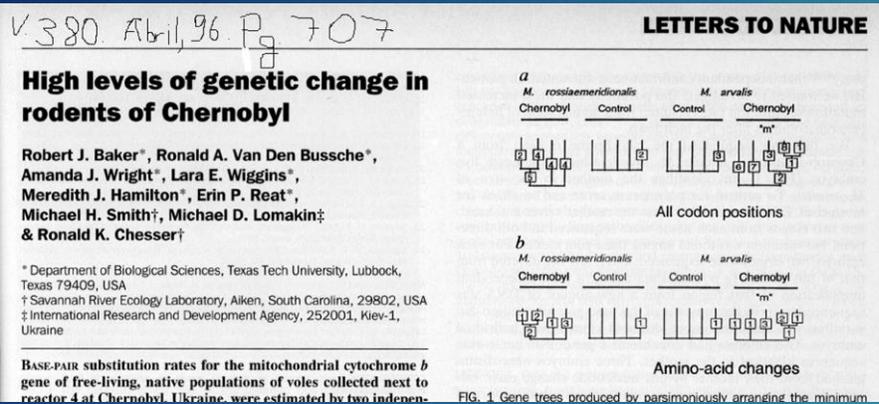
## ▶ Fukushima

- ▶ Não houve fatalidades por efeitos imediatos de radiação. 170.000 evacuados, incluindo hospitalizados. Vários faleceram durante a evacuação. Evacuados sofreram com estigma de terem recebido radiação e doenças associadas a stress têm sido reportadas. Esse stress não necessariamente é associado ao estigma da radiação mas especialmente pela evacuação.



# Influências da mistificação em ciências

- ▶ **Pré-concepção:** a radiação em limiares superiores aos níveis naturais deveria causar aumento nos níveis de mutação nos organismos vivos que habitam o entorno do reator acidentado. Embora existam dados que corroboram a acepção dessa expectativa, ainda não há uma caracterização completa do fenômeno. Em abril de 1996, baseando-se na hipótese acima, publicaram-se um artigo no periódico Nature.



## Principais conclusões do trabalho:

**Estudo de sequenciamento de DNA em roedores da região do reator de número 4. Comparação com roedores oriundos de regiões que receberam baixas doses de radiação comparadas com Chernobyl.**

**Técnicas manuais: erro humano! Repetição por técnicas automatizadas: não foram detectados altos níveis de mutação!**

retraction Nature, Nov. 1997, Vol. 390.

## High levels of genetic change in rodents of Chernobyl

Robert J. Baker, Ronald A. Van Den Bussche, Amanda J. Wright, Lara E. Wiggins, Meredith J. Hamilton, Erin P. Reat, Michael H. Smith, Michael D. Lomakin & Ronald K. Chesser

Nature 380, 707–708 (1996)

We previously reported an elevated DNA substitution rate in the mitochondrial cytochrome *b* gene of voles from Chernobyl. Our conclusion was based on a higher level of variation in rodents living in the zone of radioactivity than in rodents from control regions.

## Growing Up with Chernobyl

Working in a radioactive zone, two scientists learn tough lessons about politics, bias and the challenges of doing good science

Ronald K. Chesser and Robert J. Baker

The summer of 1994 was our first season together in the Chernobyl Exclusion Zone, a region within a 30-kilometer radius of the Chernobyl Nuclear Power Plant. We were there to investigate the long-term biological effects of

regions into cages in the examined their chromosomes wise unaffected by the radiation. In respect, the mice seemed munity" to harm from r

**Os autores principais do trabalho também publicaram um importante artigo sobre o trabalho do cientista e como “pressões sociais” podem afetar suas conclusões. Uma importante lição sobre o método científico a ser considerada pela comunidade científica.**

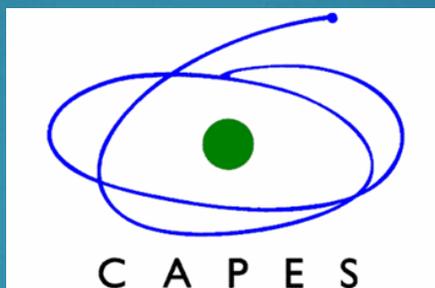
# Conclusões



- ▶ Há, mesmo por parte da comunidade científica, um dose excessiva de desconhecimento sobre os fenômenos nucleares.
- ▶ Esse desconhecimento deve-se à deficiências de formação de base e afeta, inclusive, profissionais que atuarão em campos que possuem forte intersecção com o setor nuclear, como aqueles da área de gestão ambiental.
- ▶ Isso impede a devida apreciação da questão nuclear, com os problemas, soluções e possibilidades, que pode propiciar e desacelera seu aproveitamento benéfico pela humanidade.
- ▶ Ademais, esses profissionais acabam por receber abordagens mistificadas sobre o assunto, mesmo que tenham sólida formação científica.
- ▶ Um programa de formação científica sobre tópicos da área nuclear, que aborde profissionais de acordo com suas áreas de especialidade e interesse, podem contribuir para cobrir lacuna.

# Agradecimentos

- ▶ Grupo M2C:
- ▶ Alexandre Ferreira Ramos (responsável)
- ▶ Dr. Mauro Cafundó de Moraes (CAPES)
- ▶ Alexandre Sarmiento Queiroga (CAPES)
- ▶ Luiz Guilherme Soares (CAPES)
- ▶ Misaki Sittoni (CAPES)
- ▶ Willian Lautenschlager
- ▶ Miguel Vasconcelos (PET)
- ▶ Sophia Vergueiro (ACEx)
- ▶ Suzylaine Lima (ACEx)
- ▶ Caroline Lucchi (ACEx)
- ▶ Marcus Campos Silva (PET)
- ▶ Alan Utsuni Sabino (PET)
- ▶ Victor Emerenciano
- ▶ Ana Caroline Reis
- ▶ Julio Delgado



- ▶ Parte significativa desse trabalho foi realizada sob os auspícios de contrato USP ETN encerrado em outubro de 2015.