



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

Usos da Radioatividade na Agricultura

Prof. Dr. Thiago Mastrangelo

Eng^o Agrônomo pela ESALQ/USP

Laboratório LIARE

Fone: 19-3429-4664

piaui@cena.usp.br



Índice

1 – Fontes de Radiações Ionizantes

2 – Usos da Radioatividade na Agricultura

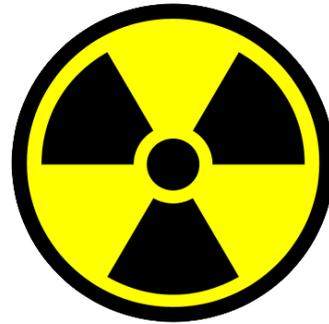
– *Mutation Breeding*

– Irradiação de Alimentos

– Vacinas Irradiadas

– Técnica do Inseto Estéril

3 – Irradiadores Alternativos



Fontes de Radiações Ionizantes

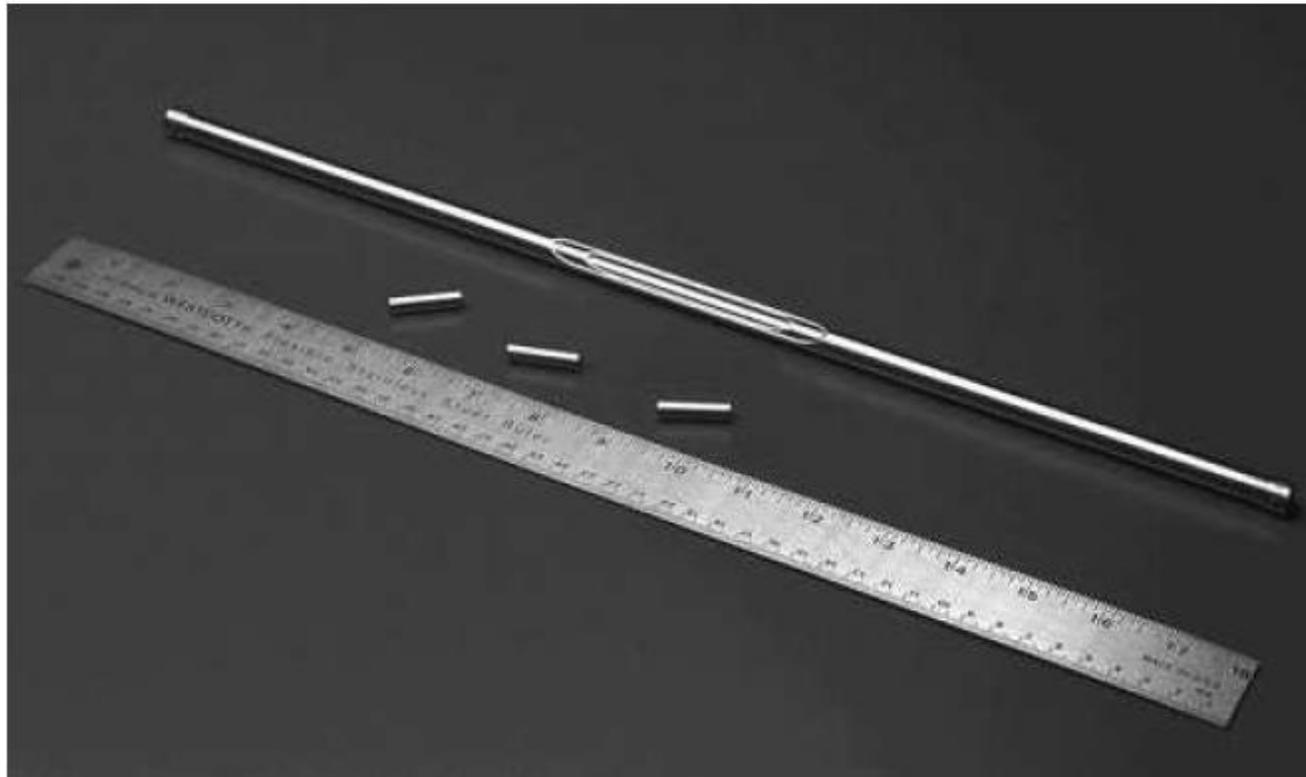
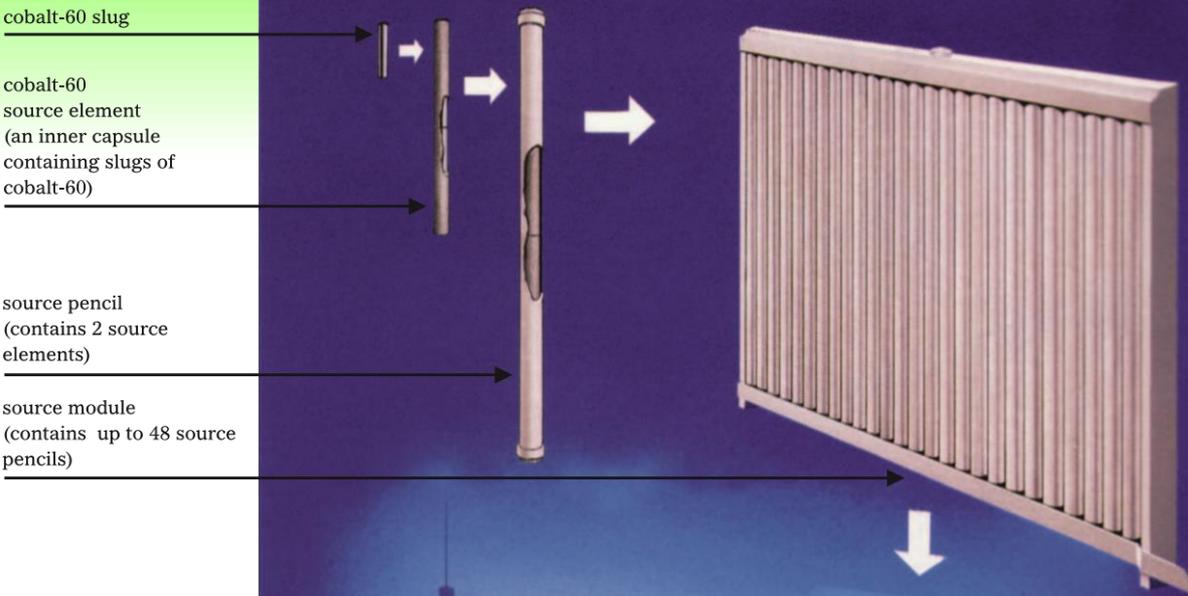


Figura 2.13 Fotografia de uma maquete de um lápis de cobalto-60 e de seus peletes fabricado pela MDS Nordion (Canadá). Notar as duas camadas de aço inoxidável que envolvem os peletes de cobalto-60 [Sommers e Fan, 2006].

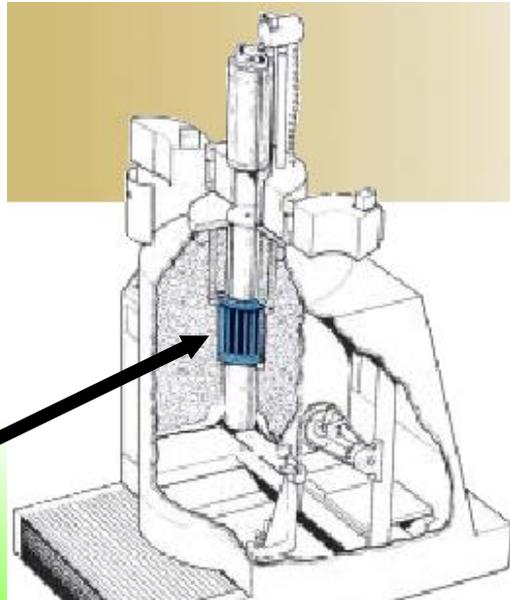


source rack
(contains modules in
different configurations,
depending on irradiator
design)

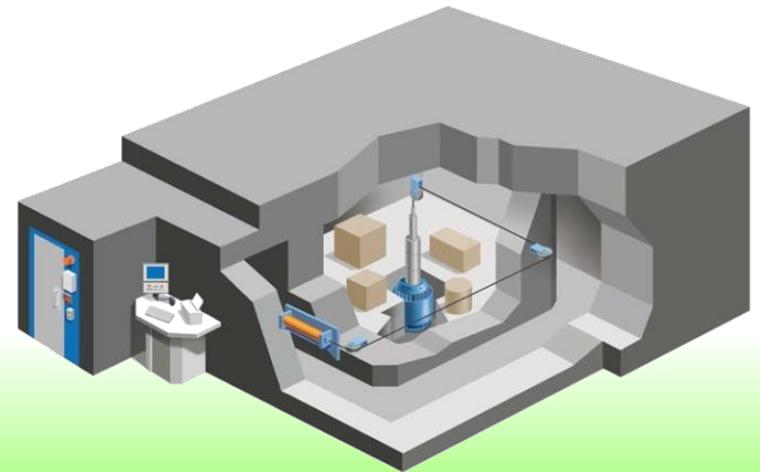


Esquema fornecido pela MDS Nordion (Canadá), mostrando uma montagem típica de uma grade de fontes (*source rack*) de um irradiator industrial. Desde os peletes (*slugs*), passando pelos lápis (*pencils*), módulos (*module*) até chegar à montagem final [IAEA, 2004].

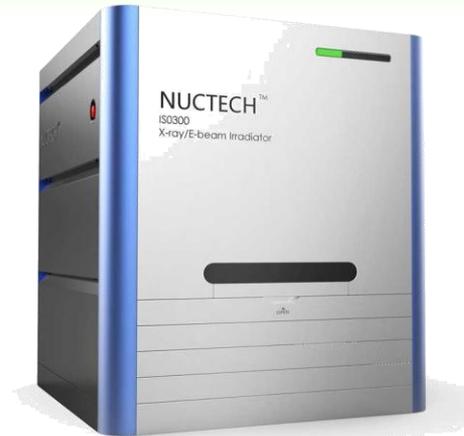
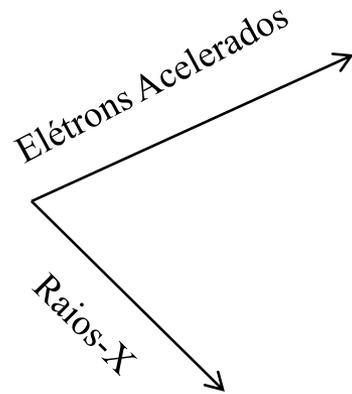
Fontes para Irradiação



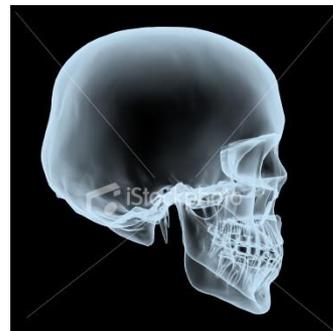
Lápis de ^{60}Co



Alternativas para Irradiação



($E \leq 10$ MeV)

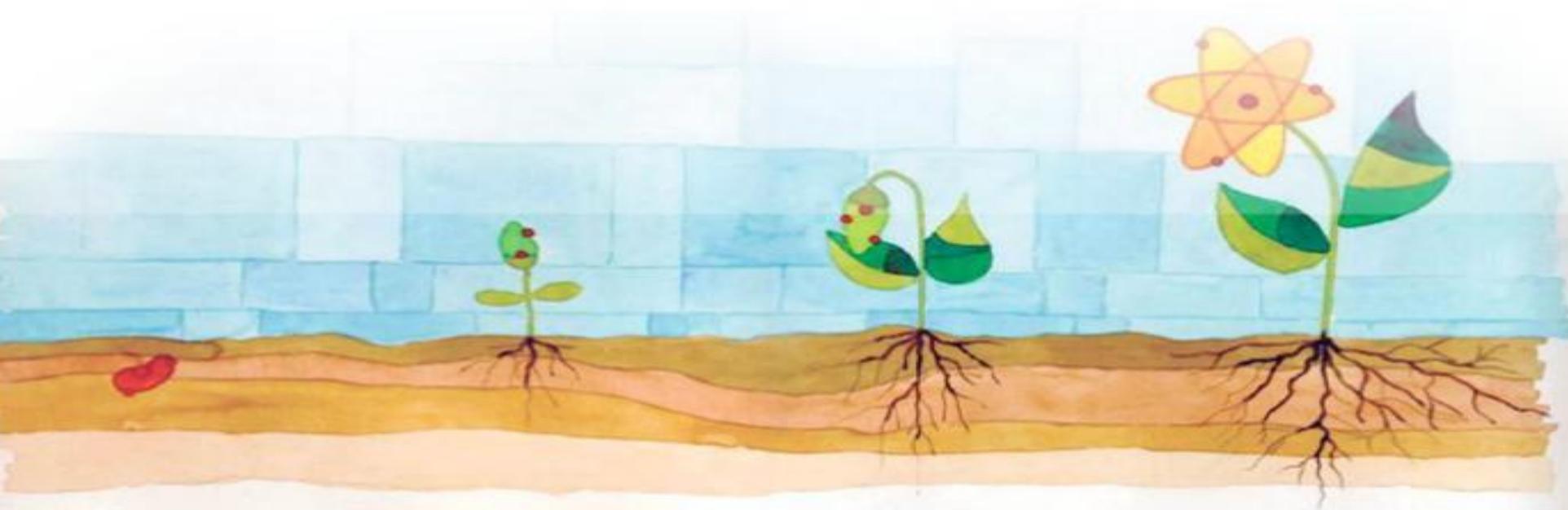


($E \leq 5$ MeV)

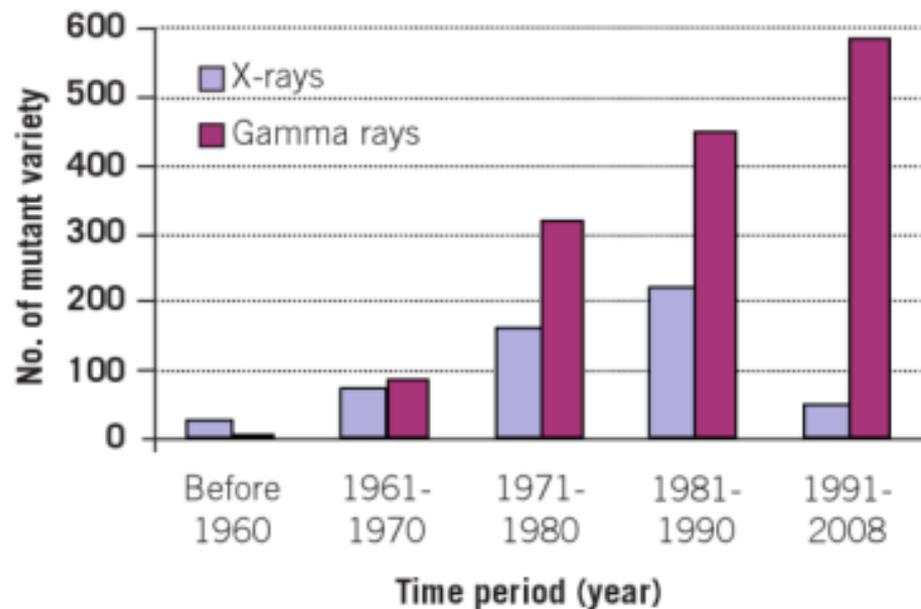


* MeV = milhões de elétrons Volt ($1 \text{ MeV} = 1,6 \times 10^{-19}$ Joule)

Indução de Mutações para o Melhoramento Genético de Plantas



Comercialização de Variedades Mutantes



Desenvolvimento de variedades mutantes por raios-X e raios gama. (IAEA, 2009)





Figure 2. Mutated sectors appeared on flower after chronic irradiation.



Figure 3. Floral petal culture and callus induction on the media.

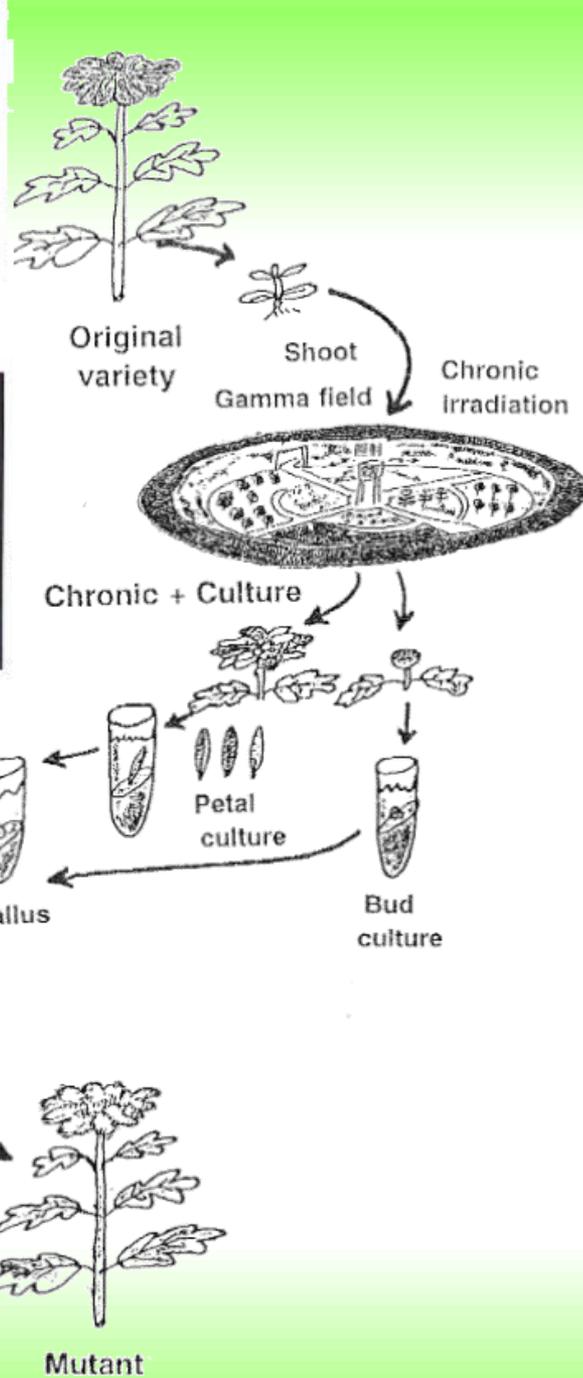
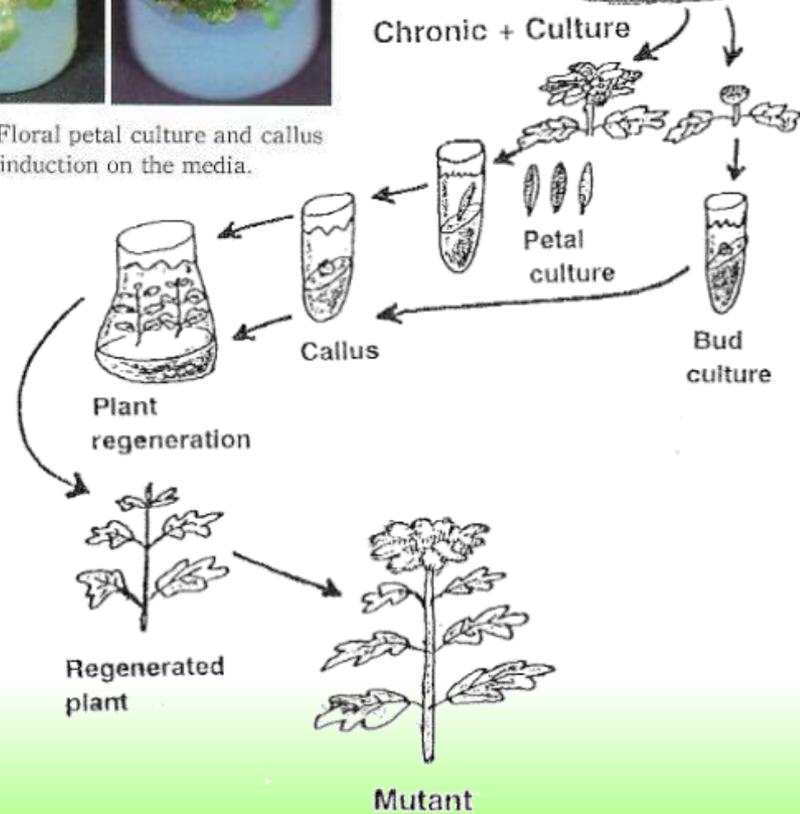


Figure 4. Flower color mutants derived from petal culture of chronic irradiated plants.
Original variety : upper right.



Figure 5. Flower shape and size mutants derived from petal culture of chronic irradiated plants.
Original variety : upper right.

Variedades Mutantes Oficialmente lançadas no Mundo

(FAO/IAEA Mutant Varieties Database,2015)

Country	Registration date	No. of released varieties	Country	Registration date	No. of released varieties
Albania	1996	1	Korea	1970–2008	35
Algeria	1979	2	Malaysia	1993–2002	7
Argentina	1962–1987	6	Mali	1998–2000	15
Australia	1967–2010	9	Mexico	0	5
Austria	1959–1995	17	Moldova	2004–2007	7
Bangladesh	1970–2010	44	Mongolia	1984–2004	4
Belgium	1967–1987	22	Myanmar	1975–2004	8
Brazil	1974–2005	13	Netherlands	1954–1988	176
Bulgaria	1972–2010	76	Nigeria	1980–1988	3
Burkina Faso	1978–1979	2	Norway	1978–1988	2
Canada	1964–2000	40	Pakistan	1970–2009	53
Chile	1981–1990	2	Peru	1995–2006	3
China	1957–2011	810	Philippines	1970–2009	15
Congo	1972	3	Poland	1977–1995	31
Costa Rica	1975–1996	4	Portugal	1983	1
Cote D'Ivoire	1976–1987	25	Romania	1992	1
Cuba	1990–2007	12	Russia	1965–2011	216
Czech Republic	1965–1996	18	Senegal	1968	2
Denmark	1977–1990	21	Serbia	1974	1
Egypt	1980–2011	9	Slovakia	1964–1995	19
Estonia	1981–1995	5	Spain	2010	1
Finland	1960–1981	11	Sri Lanka	1970–2010	4
France	1970–1988	38	Sudan	2007	1
Germany	1950–2005	171	Sweden	1950–1988	26
Ghana	1997	1	Switzerland	1985	1
Greece	1969–1970	2	Syrian	2000	1
Guyana	1980–1983	26	Taiwan	1967–1973	2
Hungary	1969–2001	10	Thailand	2006	20
India	1950–2010	330	Tunisia	1977–2007	1
Indonesia	1982–2011	29	Turkey	1994–2011	9
Iran	2004–2008	4	Ukraine	1997–2007	10
Iraq	1992–1995	23	United Kingdom	1966–1990	34
Italy	1968–1995	35	United States	1956–2006	139
Japan	1961–2008	481	Uzbekistan	1966–1991	9
Kenya	1985–2001	3	Viet Nam	1975–2011	55
			Total		3,222

Variedades Campeãs de Arroz obtidas por *Mutation Breeding*

Pakistan	Shada	Yield potential of 7 t/ha; fine grain quality; cultivated on over 60,000 ha; generating 21 million USD to the rural economy
	Shua-92	Yield potential of 8.5 t/ha; covers over 160,000 ha; contributing an additional 223 million USD to the rural economy
	Khushboo-95	Short stature; high yield of 5.5 t/ha; cultivated on over 200,000 ha; generating an additional 8 million USD to farmers
	Sarshar	Yield potential of 9.5 t/ha; cultivated on over 80,000 ha; generating an additional income of 32 million USD to farmers
Myanmar	Shwewartun	Improved grain yield, seed quality and early maturity; covered more than 800,000 ha in 1989–1993; approximately 17% of the area under rice in Myanmar
Thailand	RD6 and RD15	In 1989–1998, these two varieties yielded 42.0 million tons paddy or 26.9 million tons milled rice, which was worth USD 16.9 billion.
China	Zhefu 80	Short life cycle (105–108 days); high yield potential; wide adaptability; high resistance to rice blast and tolerance to cold even under infertile conditions or poor management; total area of 10.6 million ha in 1986–1994
	Jiahezazhan and Jiafuzhan	Early maturity; high yield and grain quality; plant hopper- and blast-resistance and wide adaptability; planted on ca. 363,000 ha in Fujian province of China
Vietnam	VND–95–20	Grown on more than 300,000 ha/year; has become the top variety in southern Vietnam, both as an export variety and in terms of its growing area
	TNDB–100 and THDB	Tolerant to high salinity and acid sulphate soils; grown on over 220,000 ha in 2009
Egypt	Giza 176 and Sakha 101	Leading varieties with a potential yield of 10 t/ha
Japan	18 varieties	Income worth US\$ 937 million per year
India	PNR-102 and PNR-381	Income worth US\$ 1,748 million per year
Costa Rica	Camago 8	Current annual planted area 30% rice-growing area in Costa Rica
Australia	Amaroo	Current annual planted area 60%–70% of the rice-growing area in Australia
California, USA	Calrose 76; M-7; M-101; S-201 and M-301	Cultivated on over 220,000, 450,000, 150,000, 675,000 and 150,000 ha of land, respectively

Cultivares obtidos por *Mutation Breeding* no CENA/USP

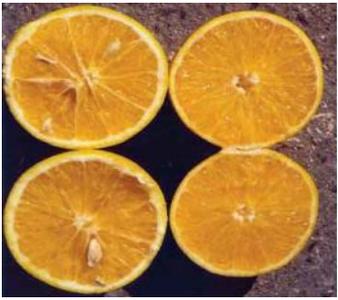
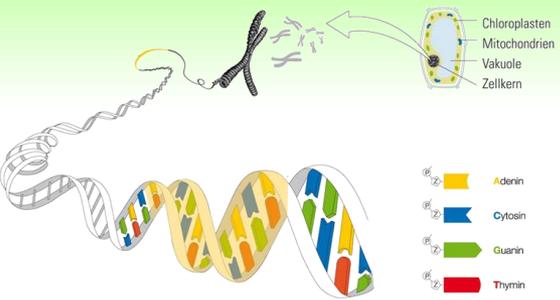


Tabela 1. Cultivares mutantes obtidos por técnicas nucleares já liberados aos agricultores do Brasil nos quais o CENA participou.

Culturas	Cultivares mutantes
Arroz	Andosan, Marques
Feijão	IAPAR 57; IAPAR 65; CAP 1010; FT PAULISTINHA; CAMPEIRO
Crisântemo	Cristiane; Magali, Ingrid
Citrus	IAC 42

Tabela 2. Algumas características agrônômicas obtidas pela indução de mutação por técnicas nucleares no Brasil em culturas propagadas por sementes ou de propagação vegetativa, nos quais o CENA colaborou. Alguns destes mutantes poderão em breve ser liberados para cultivo.

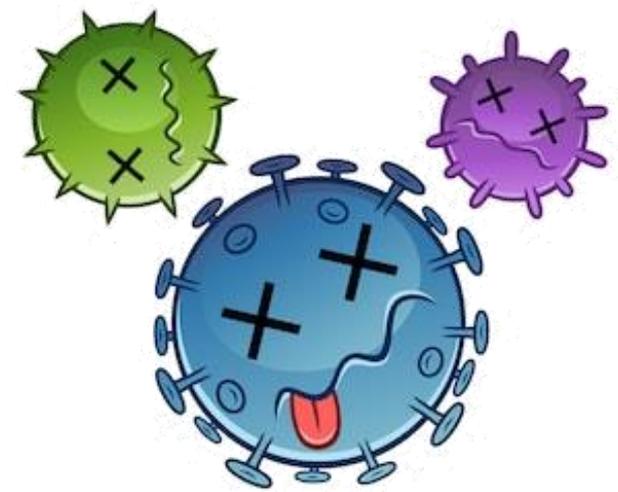
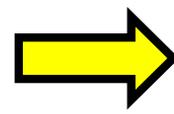
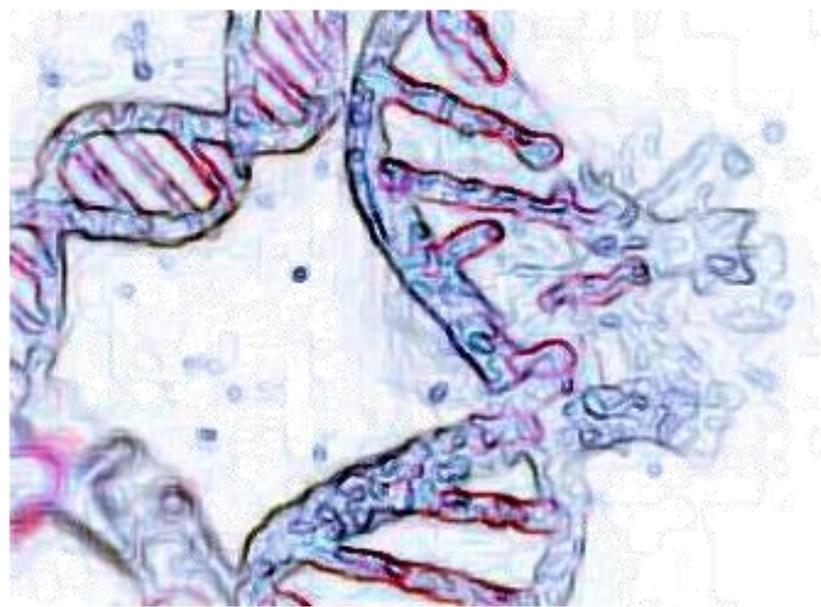
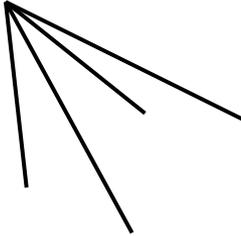
Culturas	Características
Tabaco	Resistência ao vírus; quebra de barreira de incompatibilidade em cruzamentos interespecíficos entre <i>Nicotiana repanda</i> e <i>Nicotiana tabacum</i> .
Citrus	Porte compacto. Ausência de sementes, alteração na maturidade, maior resistência ao cancro cítrico;
Feijão	Mudança na coloração das sementes; maior comprimento basal, precocidade, hábito de crescimento compacto, tolerância ao vírus do mosaico dourado;
Banana	Redução da altura da planta, resistência a salinidade;
Crisântemo	Cor das pétalas, redução na altura da planta, aumento no número de pétalas;
Trigo	Resistência a ferrugem do colmo (<i>Puccinia graminis</i> f.sp. <i>tritici</i>); Resistência a ferrugem da folha (<i>Puccinia recondite</i> f.sp. <i>tritici</i>); precocidade; redução na altura da planta; tolerância a toxidez de alumínio do solo;
Arroz	precocidade; redução na altura da planta; melhoramento da qualidade do grão;
Soja	Precocidade;
Abacaxi	Folha estreita, folha mais larga, variegação ornamental; Redução no número de espinhos.
Pimenta do reino	Tolerância a doença de solo <i>Fusarium solani</i> f.sp. <i>piperis</i>
Maça	Cor da fruta mais intensa
Figo	Pedúnculo mais longo, frutos mais alongados





Irradiação de Alimentos

Eliminação de Micro-organismos



Vantagens



- A **irradiação** de alimentos apresenta várias **vantagens**:
 - Aumento do *shelf life* e segurança ao reduzir/eliminar os micro-organismos e patógenos que contribuem para deterioração e doenças.
 - Atraso do **amadurecimento** e senescência de frutas e legumes; inibição do **brotamento** de tubérculos e bulbos.
 - Melhoria da **coloração** de produtos **cárneos** com baixo nitrito, alimentos **fermentados** com pouco sal, e certos extratos vegetais (quebra da **clorofila** no processamento de óleos e remoção da cor do extrato de folhas de chá-verde).
 - Redução de compostos **tóxicos**, incluindo **alergênicos**, **N-nitrosaminas** voláteis (cancerígenas), **aminas biogênicas**, **gossipol** (embriotóxico), e **ácido fítico** (com ↑ atividade antioxidante). (Sommers & Fan, 2008)



Comércio Mundial

- A irradiação de alimentos foi aprovada em mais de **55 países** para mais de **35 alimentos**, e a **lista cresce**.
- Cerca de **26 países** utilizam a irradiação de alimentos em escala **comercial**.
 - Desinfestação de especiarias e vegetais desidratados: **EUA, China, Brasil, e África do Sul**.
 - Desinfestação de grãos e frutas: **Ucrânia**.
 - Irradiação de carnes e frutos do mar: **EUA, Vietnã, e Bélgica**.
 - Inibição de brotamento: **Japão** (batata) e **China** (+ cogumelos e mel).

Table 1 Volumes of food processed by different technologies

Processing technology	Volume (Mt × 10 ³)
Canned ^a	17 000
Frozen ^b	24 300
Chilled & deli ^c	102 518
Dried ^d	6498
Fumigation& hot water treatment ^e	1307
Irradiation (total volume)	500
Spices and dried food	280
Sprout inhibition	85
Decontaminated meat	9
Fruit and vegetables	17
Decontaminate fish, sea food and others	109



- **500.000 t** de alimentos irradiados.
 - 40% na **China**.
 - 20% nos **EUA**.
 - 13% no **Vietnã**.
 - 8% no **México**.
 - 19% no restante do mundo.

^aMarket Line Industry Profile. Global Canned Food, February, 2013.

^bMarketLine Industry Profile. Global Frozen Food, March, 2013.

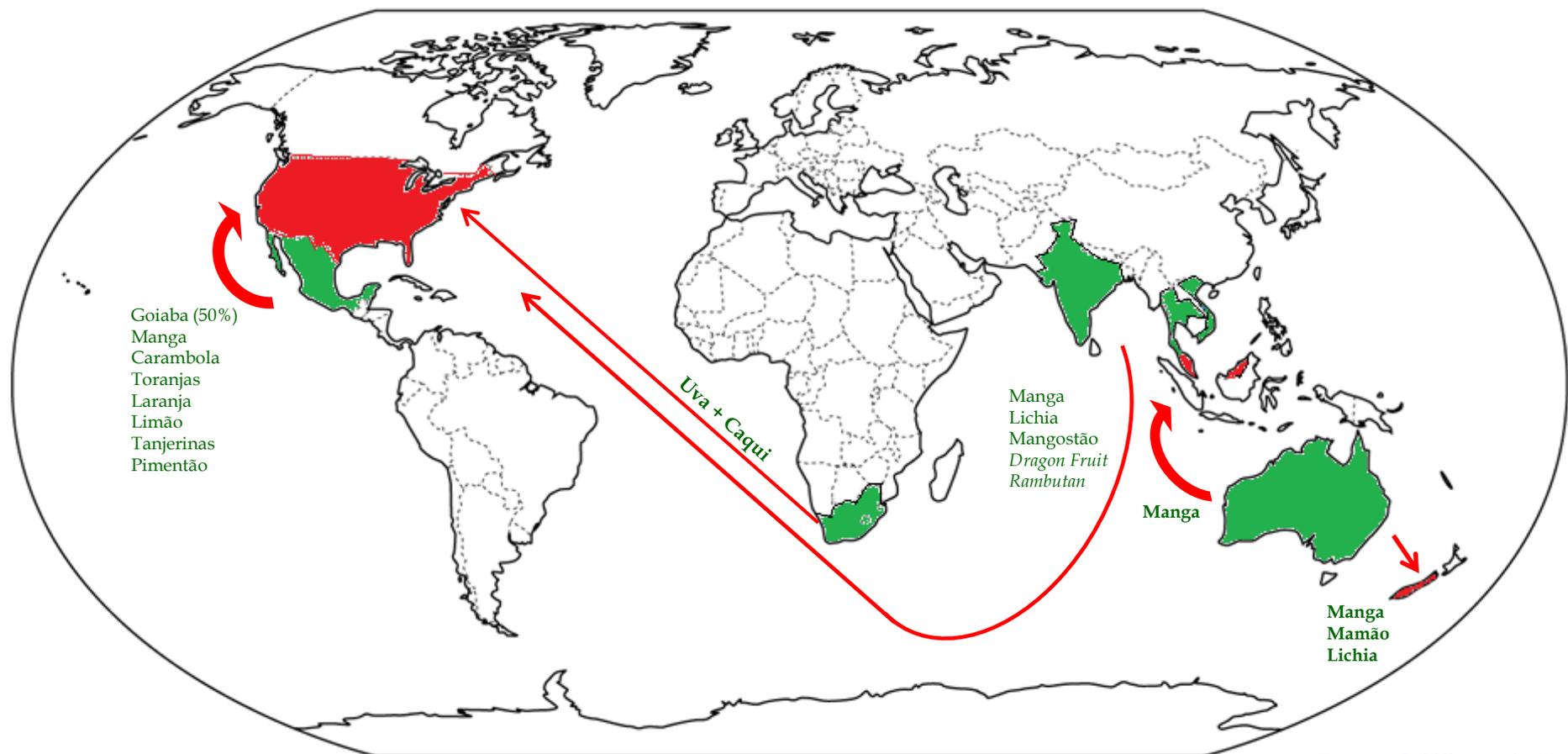
^cMarketLine Industry Profile. Global chilled & Deli, February, 2013.

^dICON Group International Inc. World Market for Dried food (2011).

^eMangoes, grapes and asparagus imported by the United States (Department of Commerce, 2011). (Bustos-Griffin et al., 2015)

Comércio Mundial

- Irradiação tem sido mais aplicada para a **desinfestação** de *commodities*.
- **90 %** para os **EUA** (antes 95%).



Legislação no Brasil sobre Irradiação de Alimentos



- Permitida desde 1973 (Decreto nº 72.718 de 29/08/1973)
- Resolução RDC nº 21 (26/01/2001) → Estabelece a regulamentação técnica para Irradiação de Alimentos no Brasil, baseada na WHO (1999).
- Instrução Normativa nº 9 de 24/02/2011 do MAPA → *Guidelines* sobre irradiação fitossanitária para prevenção da introdução e disseminação de pragas quarentenárias, baseada na ISPM nº 18 (IPPC, 1997).
- Decreto nº 9.013 de 29/03/2017 → Inspeção de produtos de origem animal.



Vacinas Irradiadas

- Patógeno atenuado ou inativado pela radiação.



www.nih.gov/news/pr/jul2006/niaid-25.htm

- Vacinas disponíveis **comercialmente** para imunização animal:
 - Contra a dictiocaulose bovina, *Dictyocaulus viviparus* (Dictol®)
 - Contra a dictiocaulose ovina, *Dictyocaulus filaria* (Difil®)

SCIENTIFIC AMERICAN™

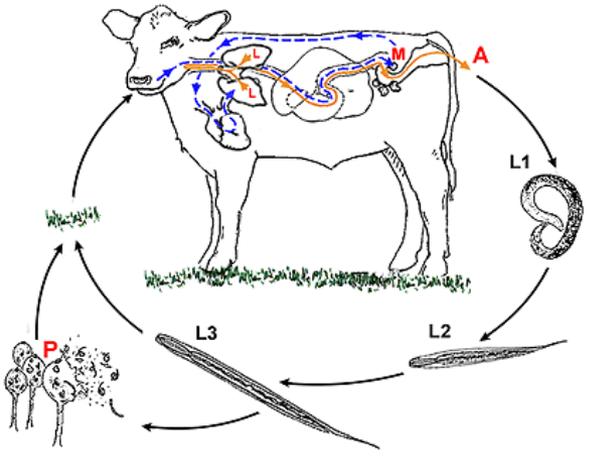
Search ScientificAmerican.com

Subscribe News & Features Topics Blogs Videos & Podcasts Education Citizen Science

More Science » News

Email Print

Dictyocaulus viviparus - Ciclo de vida

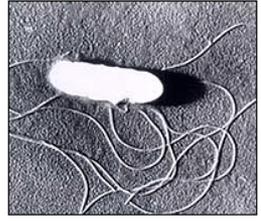


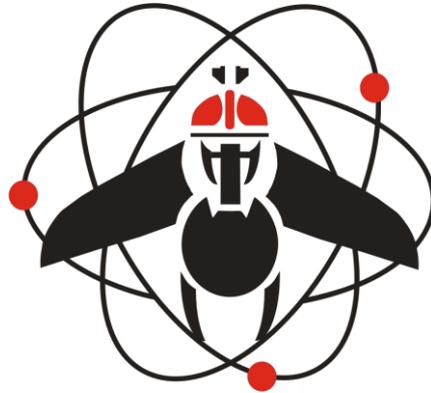
Irradiated Pathogens Used to Create Potent Vaccine

July 26, 2006 | By David Biello

Since the time of Louis Pasteur, vaccines have worked on the principle that injecting dead or weakened pathogens into the body allows the immune system to learn to fight them. But vaccines from weakened microbes require constant refrigeration until use, and those from microbes killed by heat or chemicals provoke a weaker immune response, requiring occasional boosters. But new research reviving an old concept--killing microorganisms via gamma radiation--seems to show that such irradiated vaccines can trigger powerful immunity.

Sandip Datta of the University of California, San Diego, and his colleagues first bombarded a colony of *Listeria monocytogenes*--a bacteria found in food that can cause health problems for mothers, babies and the immunocompromised--with 600,000 rads of gamma rays. The irradiated bacteria showed no signs of growth despite being introduced into a warm soy broth and allowed to sit.

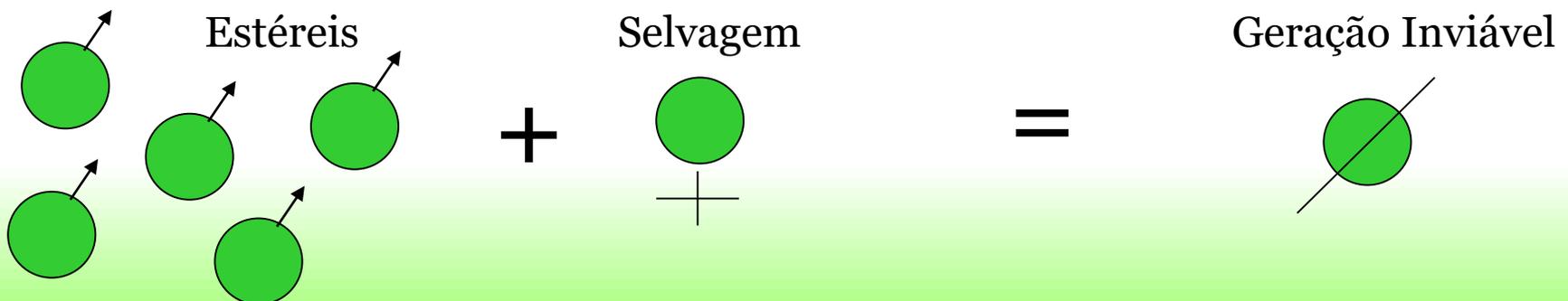




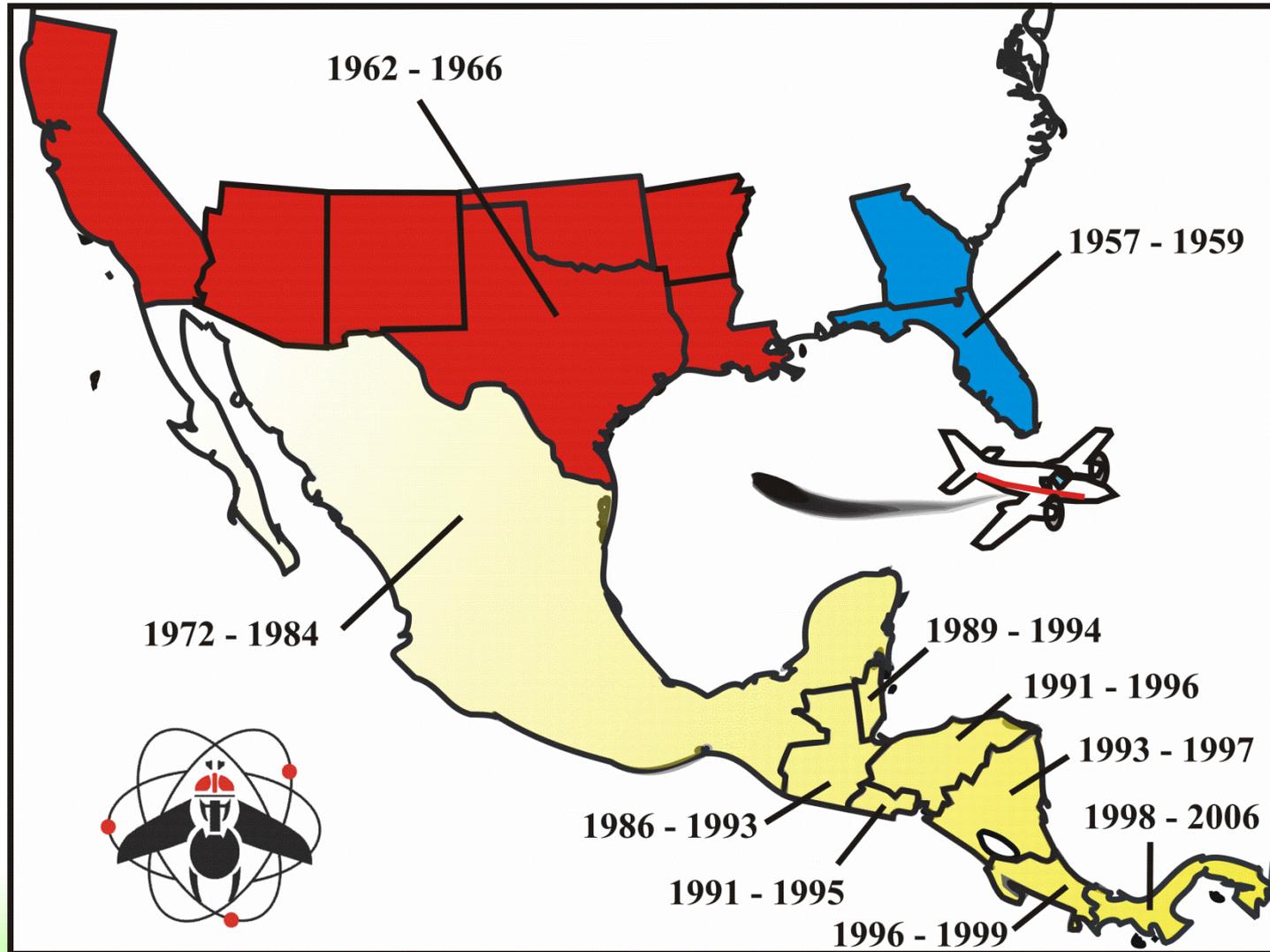
Técnica do Inseto Estéril

Técnica do Inseto Estéril

- A Técnica do Inseto Estéril (TIE) pode ser definida como:
 - “método de controle que utiliza liberações inundativas de insetos estéreis em área-ampla para reduzir a fertilidade de uma população natural da mesma espécie” (FAO, 2005).



Programas de Erradicação da mosca da bicheira da América do Norte e Central



Biofábricas de Insetos Estéreis

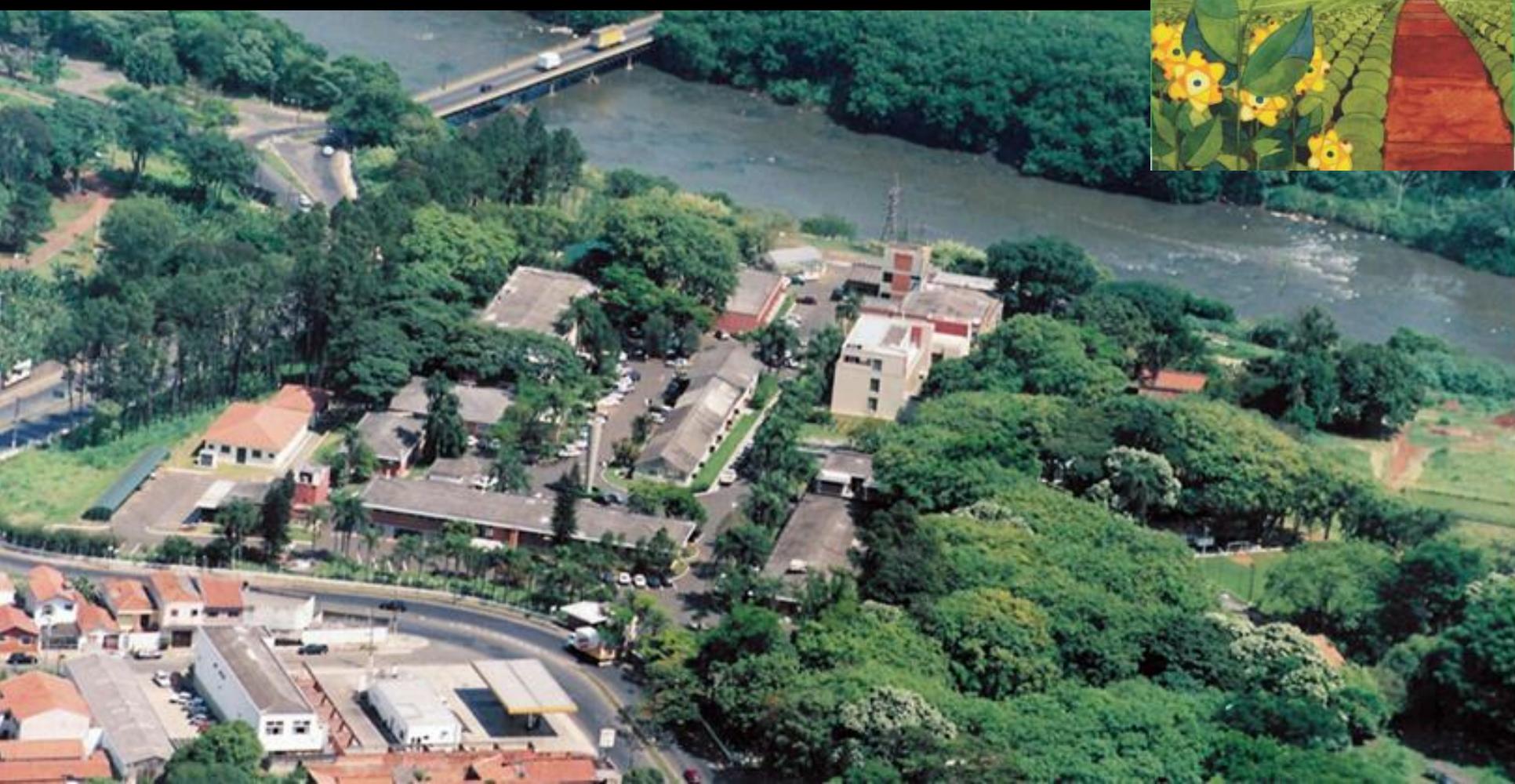
- Atualmente, cerca de **38 biofábricas** produzem milhões de insetos estéreis/semana para programas nacionais de AW-IPM ou fazem pesquisa em TIE contra *screwworms*, moscas-das-frutas, mariposas e moscas tsé-tsé (IDIDAS, 2015).
- Uma das maiores biofábricas do mundo (Programa MOSCAMED) está localizada em El Piño, Guatemala.
- Desde 1994, a receita bruta do México com produtos hortícolas triplicou para mais que US\$ 3.5 bilhões/ano, com um retorno econômico de 167 dólares para cada dólar investido no programa (Enkerlin, 2005).

Biofábrica de *C. capitata* em El Piño, Guatemala



1,7 Bilhões de machos
estéreis de
C. capitata /semana
(tsl VIENNA 7)





Laboratório de Irradiação de Alimentos e Radioentomologia



Prof. Frederico M. Wiendl

Pragas de Grãos Armazenados



Prof. Julio Walder



AVULSO - INSTITUTO DE FÍSICA
ARQUIVO NACIONAL



Broca da Cana



Bicho-Furão do Citros



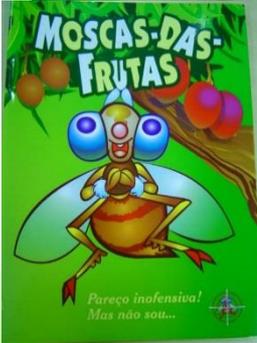
Medfly

Biofábrica MOSCAMED Brasil

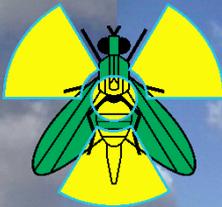


MISSÃO

Suprimir as populações de moscas-das-frutas nos agropólos do Vale do rio São Francisco.



Center for Biological Control and Integrated Management of Fruit Flies - MOSCASUL







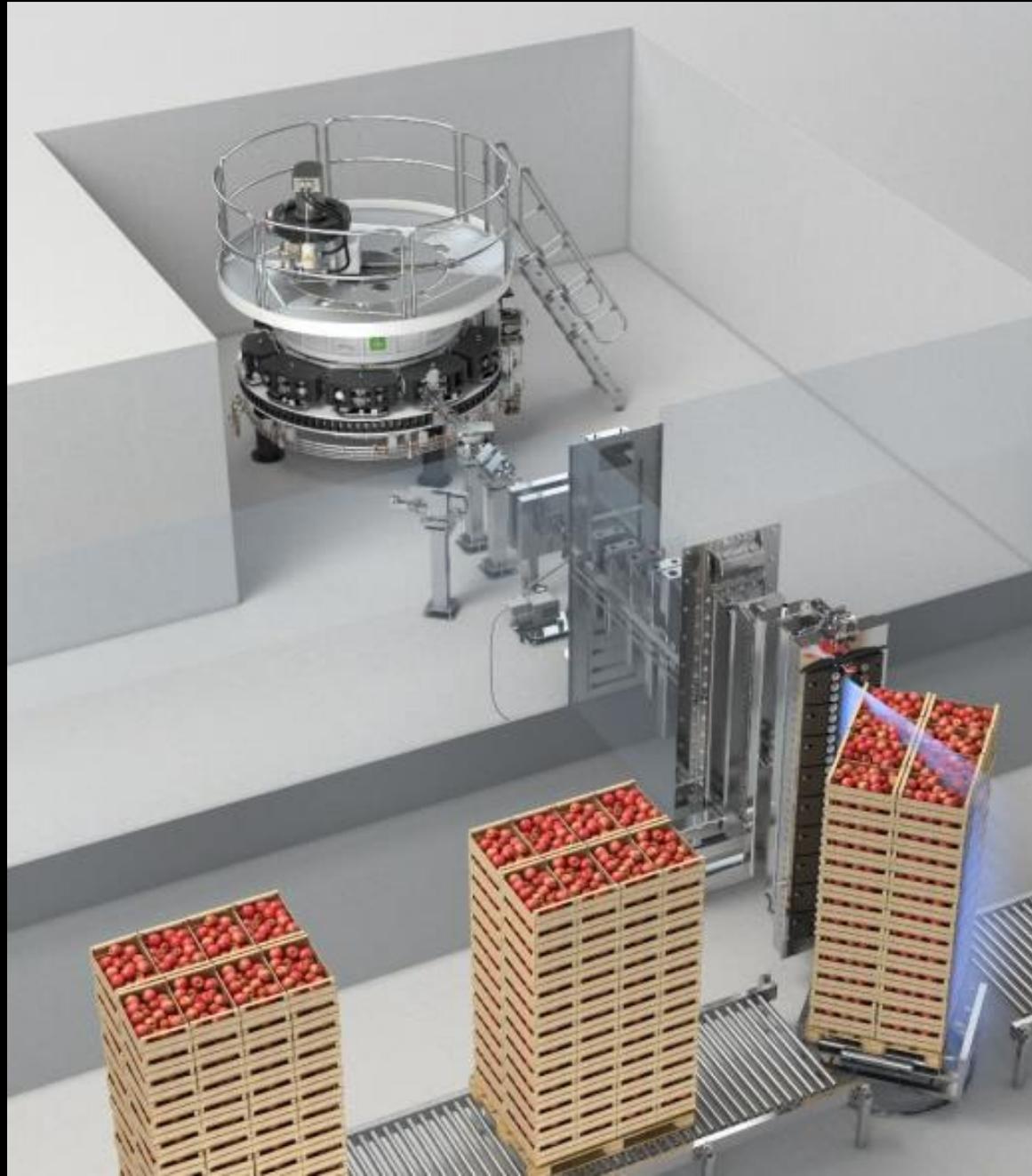
Irradiadores Comerciais no Brasil

Irradiador Multipropósito **ipen**

Sterigenics
A Sotera Health company



Aceleradores de Elétrons



Centro de processamento de irradiação de Shanghai



Muito Obrigado !

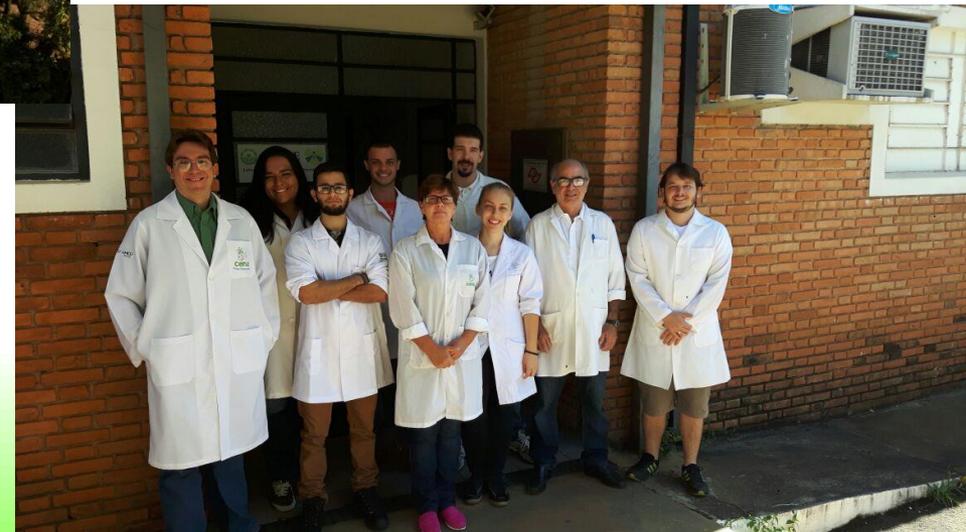


Laboratório LIARE

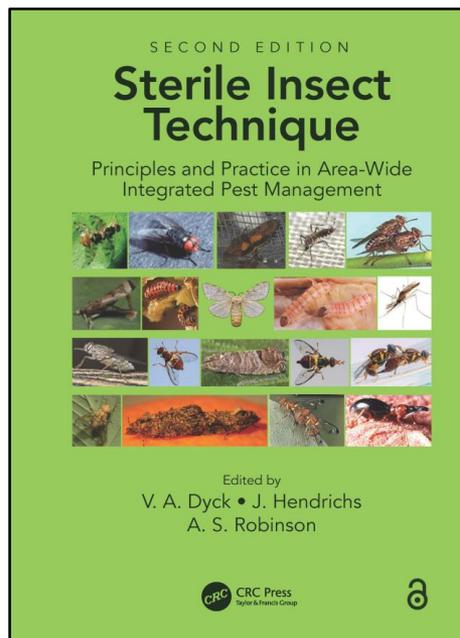
www.facebook.com/liare.cena.usp.br/

Fone: 19-3429-4664

piaui@cena.usp.br

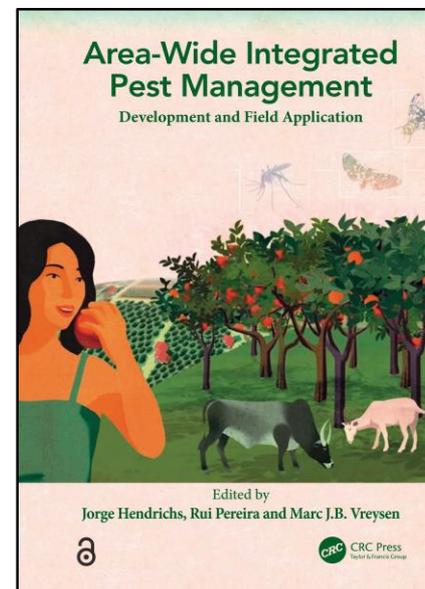


Bibliografia



Sterile Insect Technique - Principles and Practice in Area-Wide Integrated Pest Management.

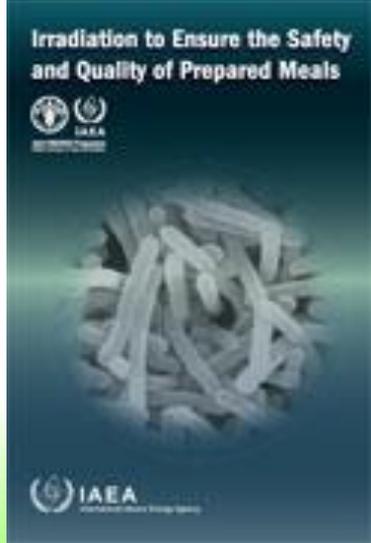
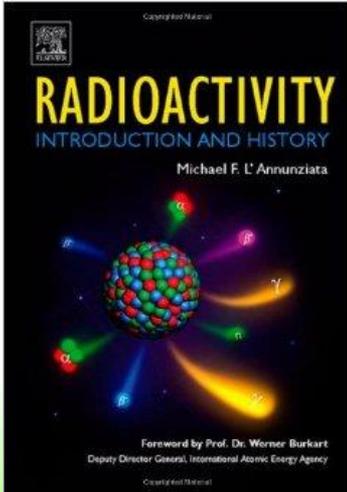
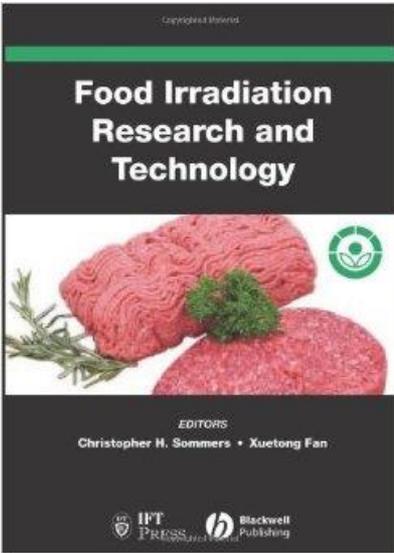
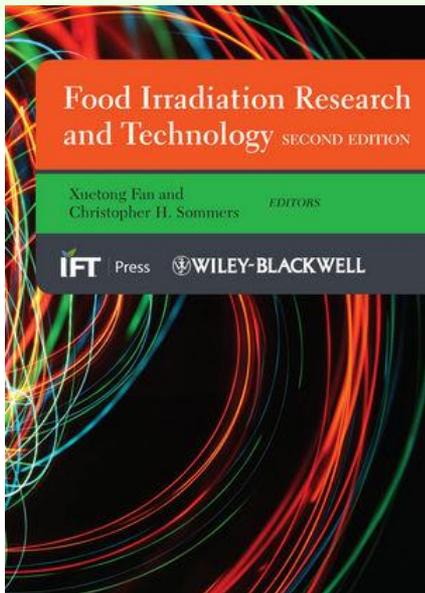
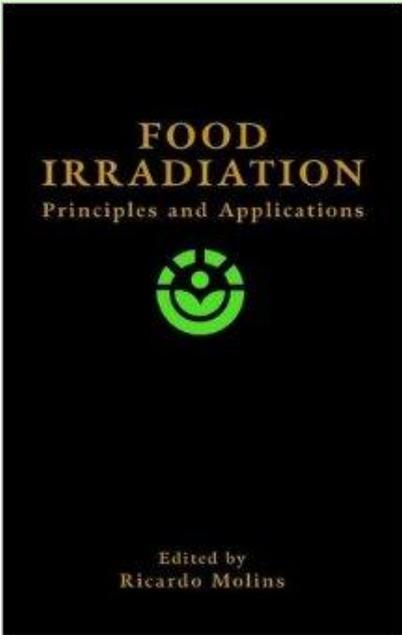
Dyck, V.A.; Hendrichs, J.; Robinson, A.S. (Eds.), 2nd Edition, 2021, 1200 p.



Area-Wide Integrated Pest Management – Development and Field Application.

Hendrichs, J.; Pereira, R.; Vreysen, M.J.B. (Eds.), 2021, 1012 p.

Bibliografia



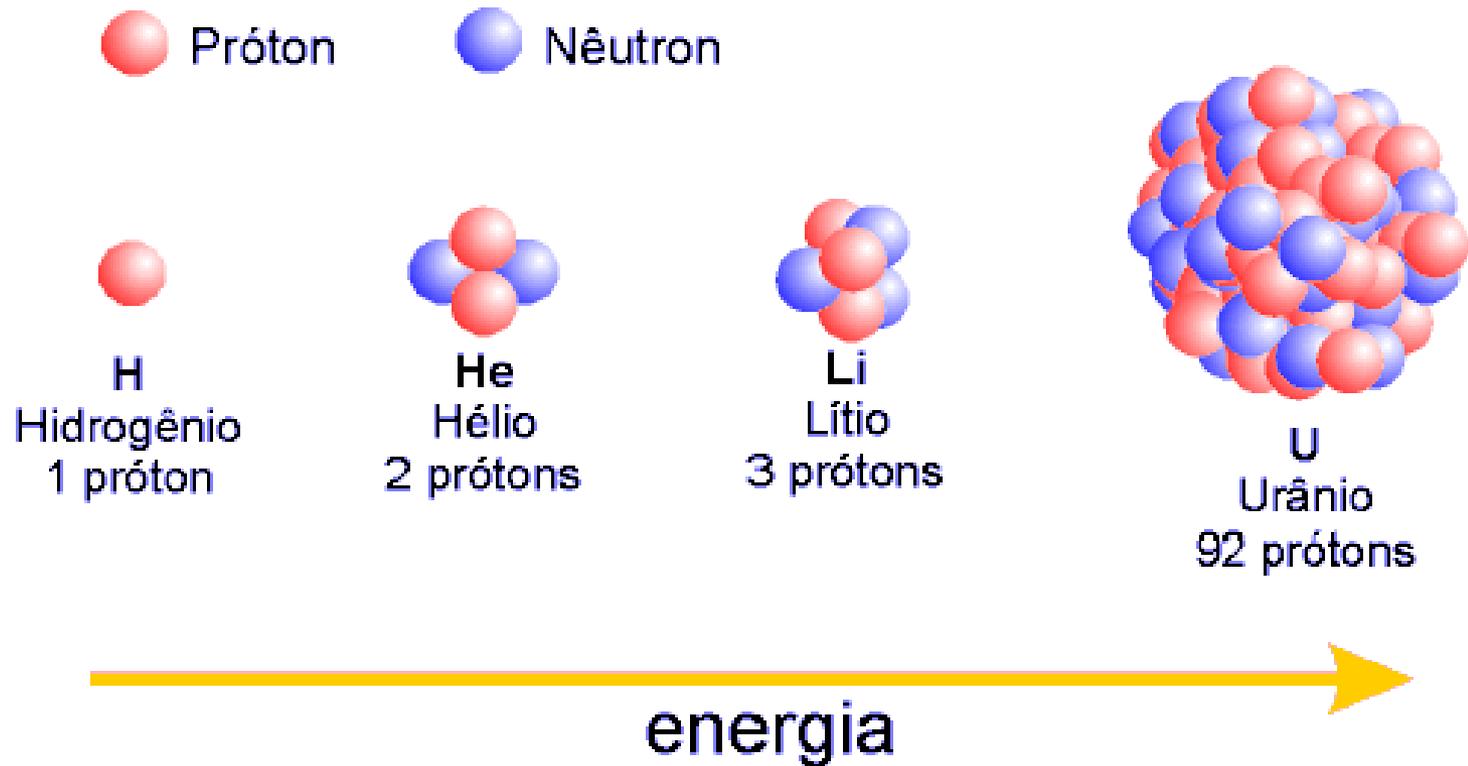
Usos Pacíficos da Radioatividade

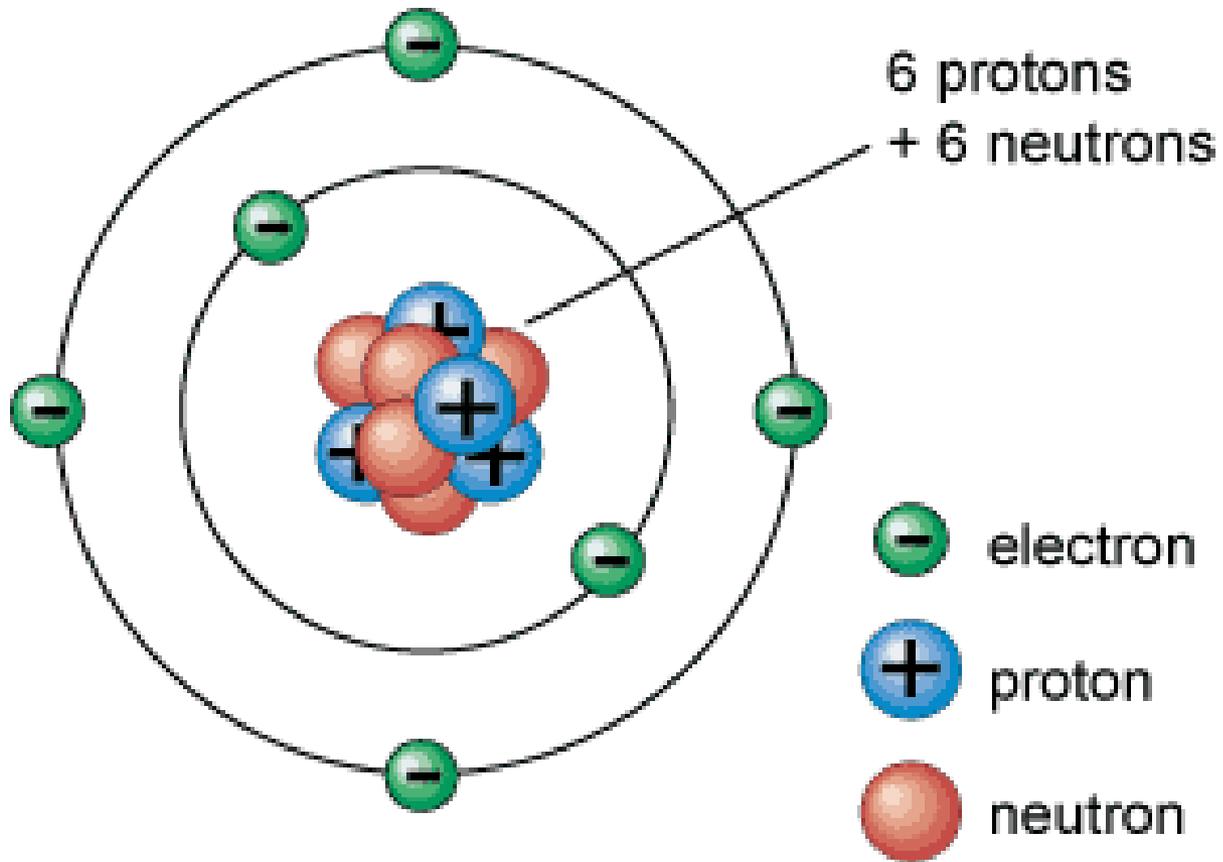
- Geração de Eletricidade
- Aplicações
 - Agricultura
 - Arqueologia
 - Ambientais
 - Medicina
 - Indústria
 - Exploração Espacial



Decaimento Radioativo

ELEMENTOS QUÍMICOS NATURAIS





Carbon atom

Non-Ionizing Radiation

Ionizing Radiation

Low Frequencies



Radiofrequencies



Visible Light



X-rays & Gamma Rays



Frequency in Hz:

0 10^2 10^4 10^6 10^8 10^{10} 10^{12} 10^{14} 10^{16} 10^{18} 10^{20} 10^{22}



Radiações Eletromagnéticas

- **Raios X**

- Origem na **Eletrosfera**.
- Radiação de freamento (ou *Bremsstrahlung*): os elétrons são acelerados em um dispositivo elétrico e parados abruptamente ante um alvo, geralmente de tungstênio ou ouro. Parte da **energia cinética** dos elétrons é convertida nos raios X.

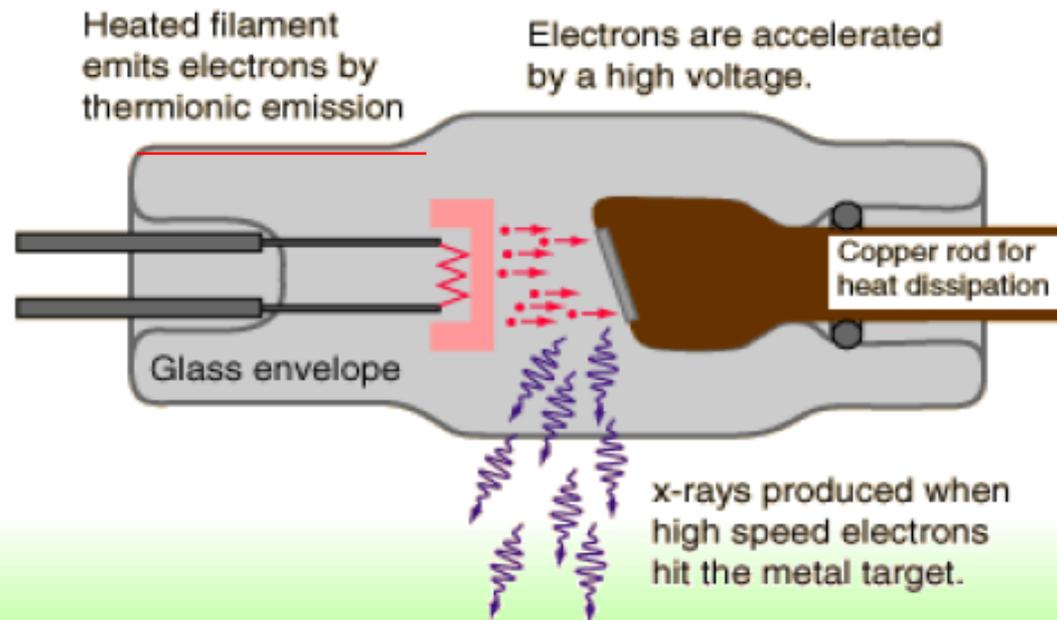
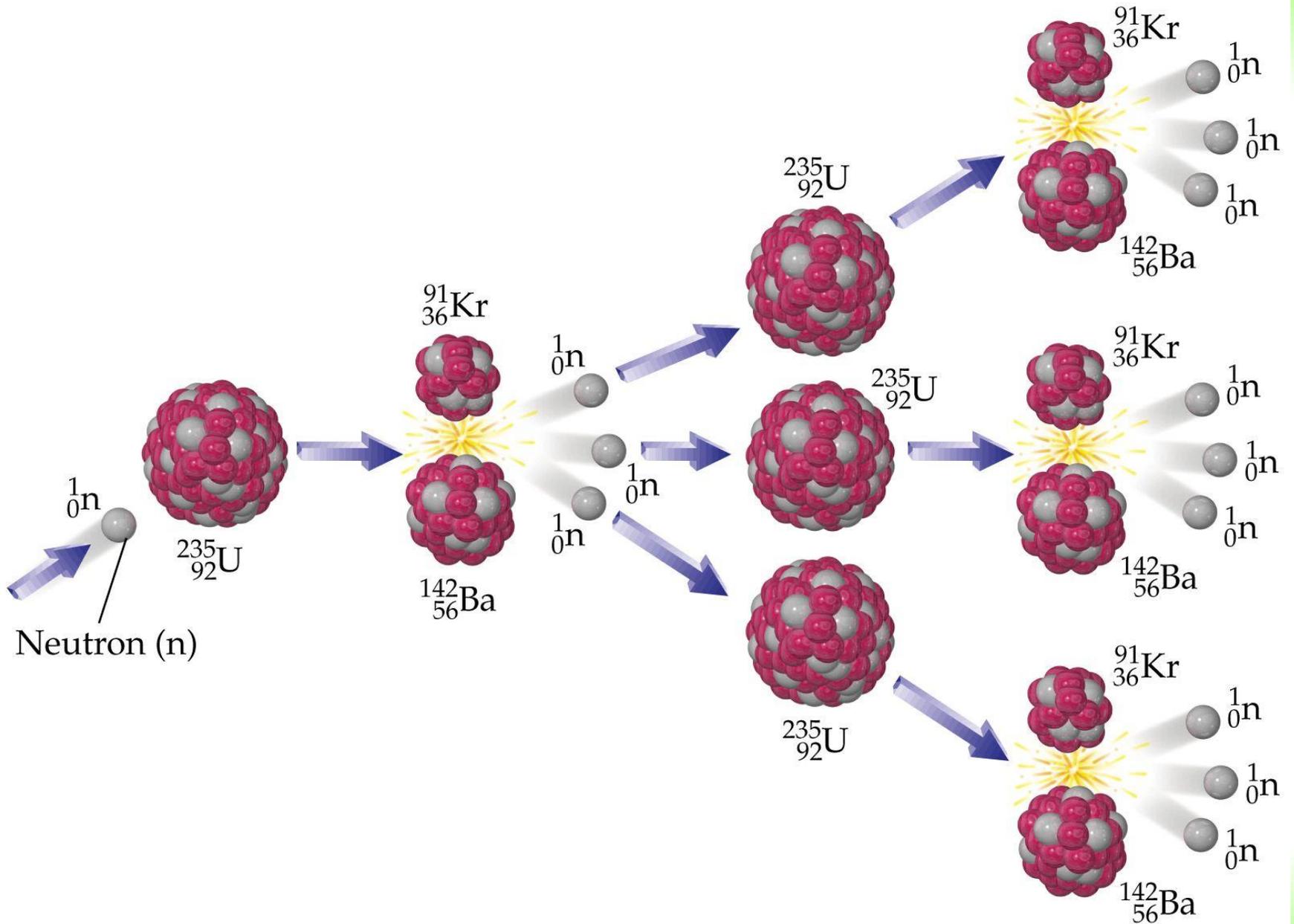
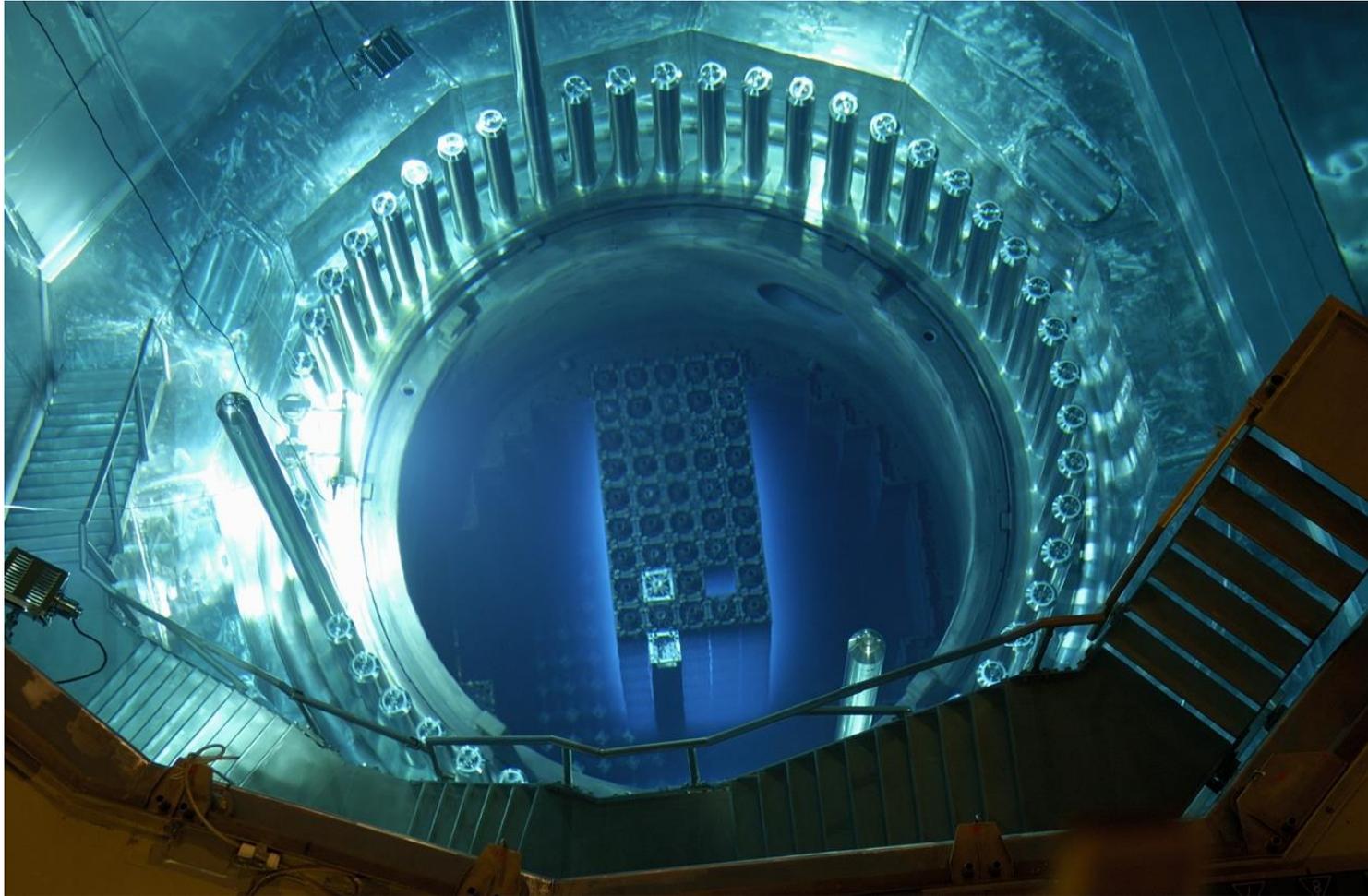


Figure 2: Typical X-Ray Tube Operation (ARPANSA - X-rays, 2008)

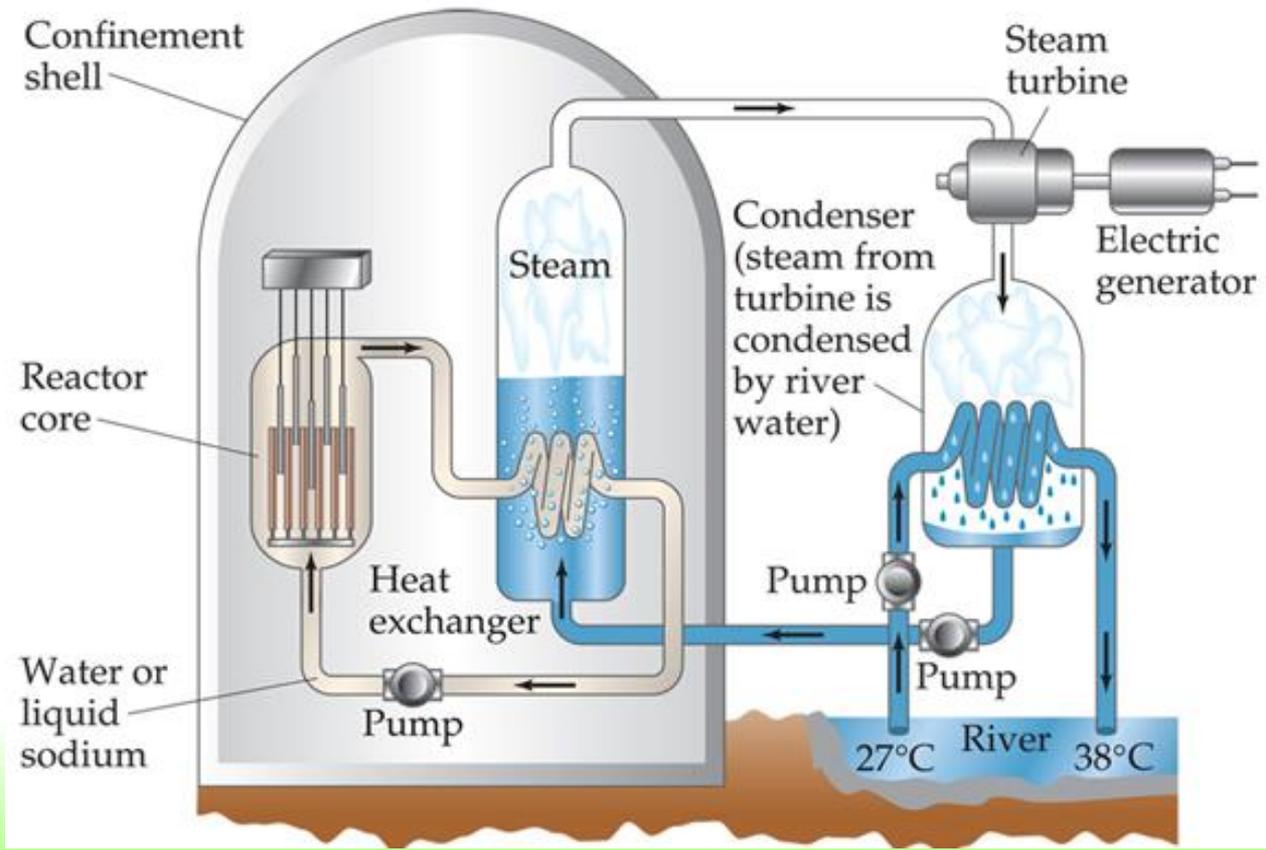
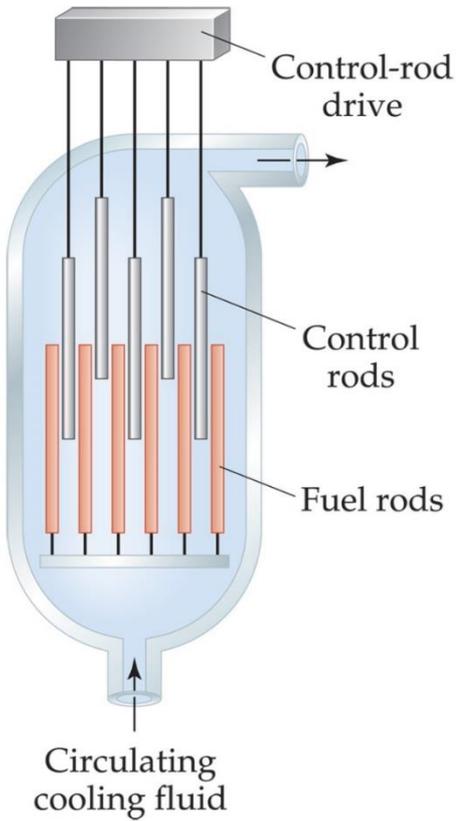


Geração de Eletricidade



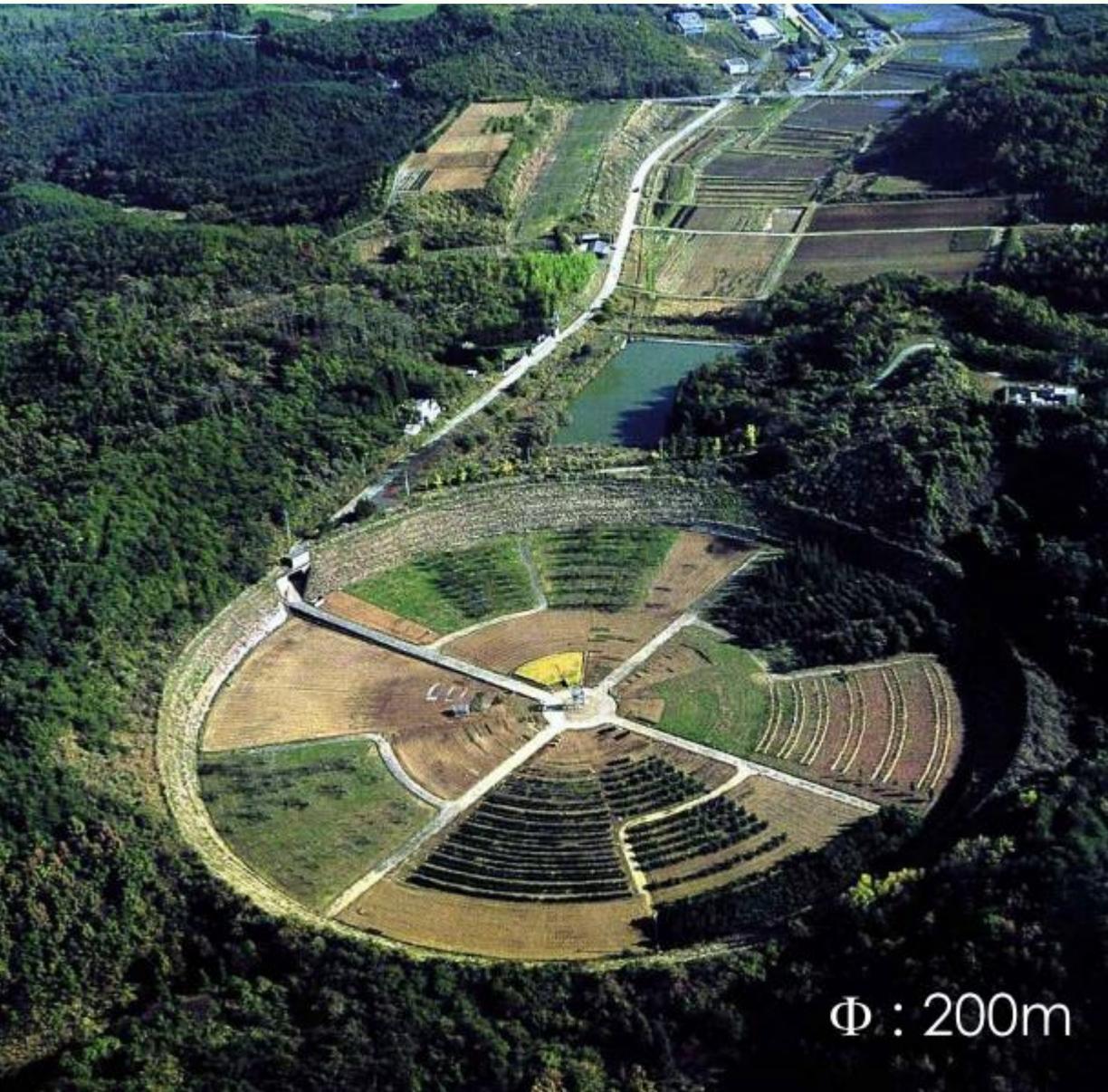
“Nuclear power is a hell of a way to boil water.”
- Albert Einstein

Reator Nuclear

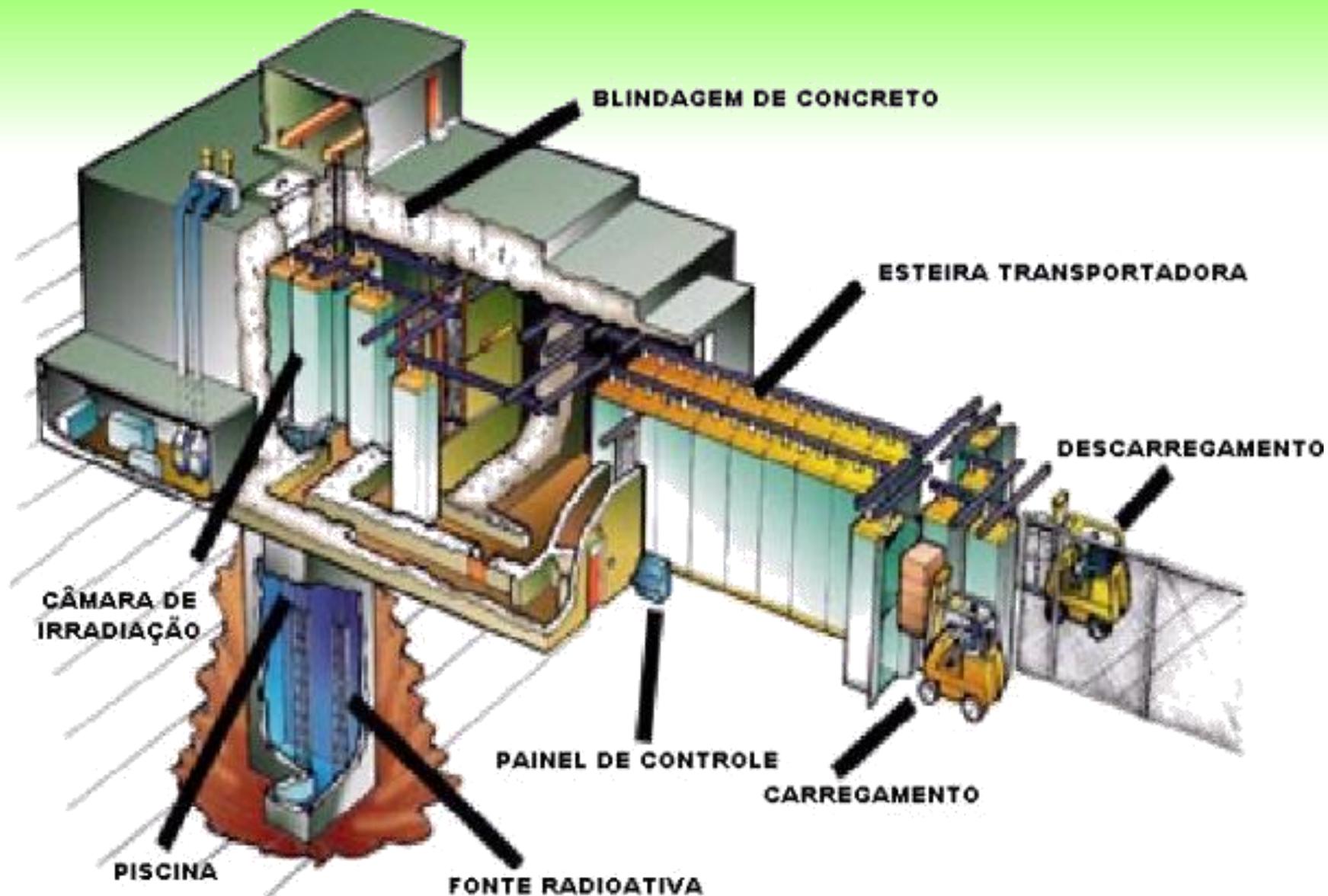


Gamma Field

Institute of Radiation Breeding, Hitachiomiya, Ibaraki, Japan



$^{60}\text{Co}: 2.400 \text{ Ci}$



Irradiador gama de categoria IV tipo Carrier. Devido às suas dimensões, esta máquina irradia paletes inteiros [IAEA, 2002].