ENUMAS 2012 – III Workshop Internacional

Irradiadores gama e aceleradores de elétrons – aplicações da tecnologia de processamento por radiação na indústria e no meio ambiente

Wilson Aparecido Parejo Calvo

Centro de Tecnologia das Radiações - CTR

IPEN-CNEN/SP

wapcalvo@ipen.br

24/08/2012

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN)

A CNEN possui 2.635 servidores ativos em 14 unidades distribuídas em 9 estados brasileiros

- ✓ Sede (CNEN)
- ✓ Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)
- ✓ Centro Regional de Ciências Nucleares do Centro-Oeste (CRCN-CO)
- ✓ Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE)
- ✓ Distrito de Caetité (DICAE)
- ✓ Distrito de Fortaleza (DIFOR)
- ✓ Escritório de Porto Alegre (ESPOA)
- ✓ Escritório de Resende (ESRes)
- ✓ Escritório de Brasília (ESBRA)
- ✓ Escritório de Angra dos Reis (ESAR)
- ✓ Instituto de Engenharia Nuclear (IEN)
- ✓ **Instituto de Pesquísas Energéticas e Nucleares (IPEN)**
- ✓ Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD)
- ✓ Laboratório de Poços de Caldas (LAPOC)

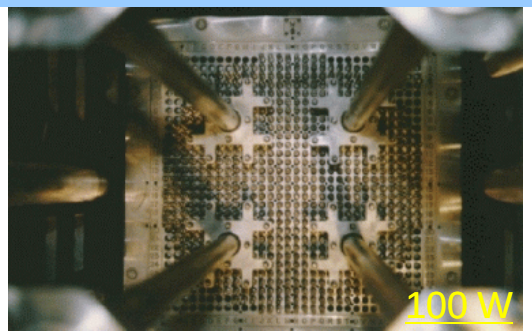
Fonte: CNEN

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

INSTALAÇÕES RADIATIVAS E NUCLEARES (CNEN)

☞ **4 Reatores Nucleares de Pesquisa**

✓ 100 W - 5 MW

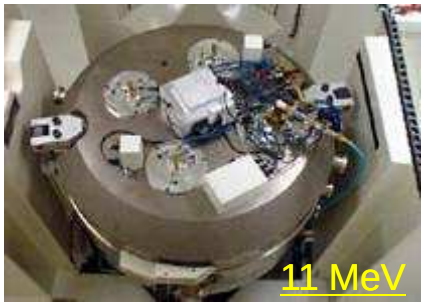

100 W


5 MW

☞ **6 Aceleradores Ciclotrons**

✓ Siemens (11 MeV)
✓ IBA (18/9 MeV, 30 MeV)
✓ TCC (24 MeV)
✓ GE (18 MeV)


30 MeV


11 MeV


Hot Cells

☞ **2 Aceleradores Industriais de Elétrons**

✓ 1.5 MeV


1.5 MeV

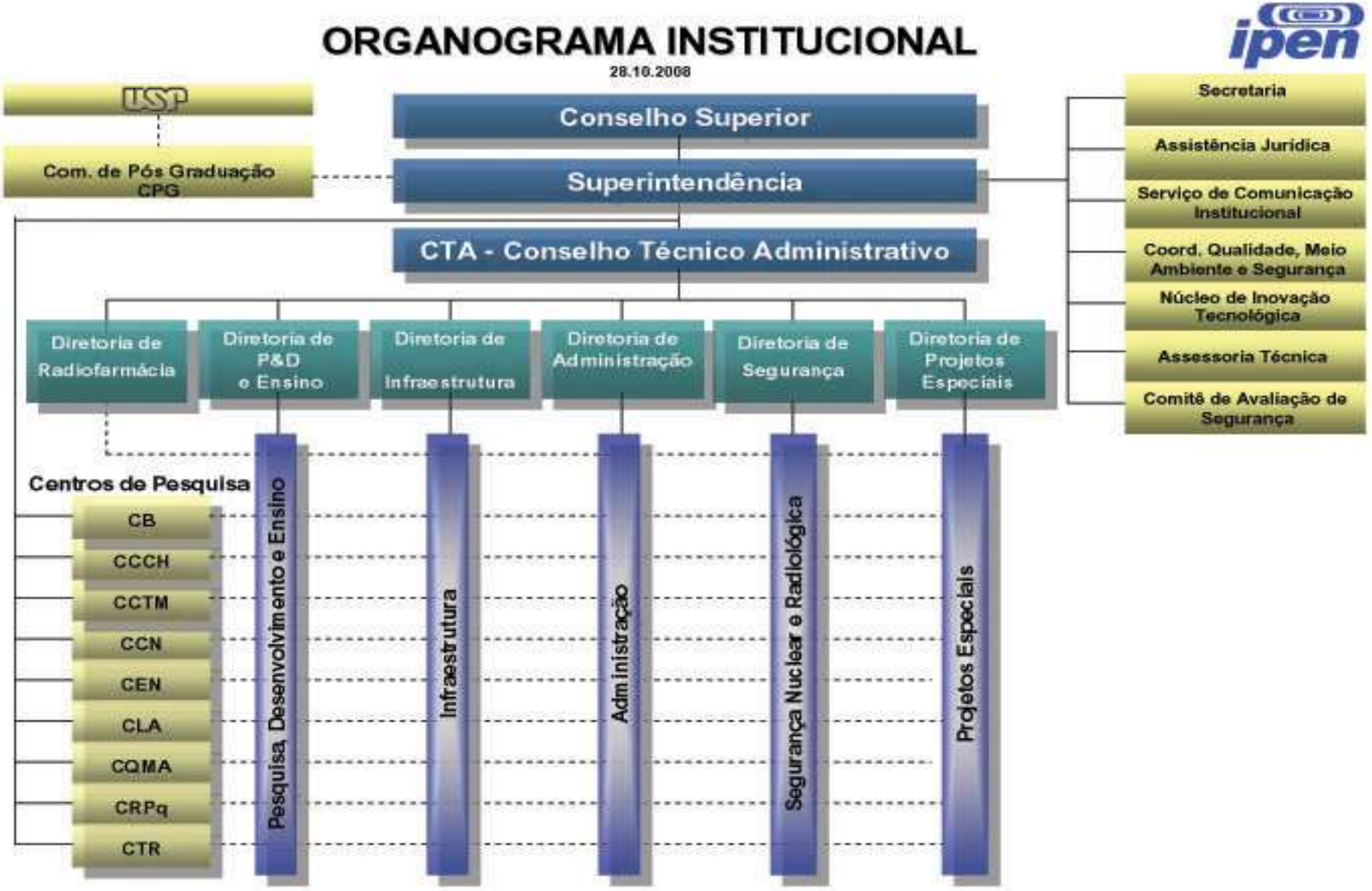
APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES (IPEN)

500.000 m²
1.050 funcionários
1175 alunos cadastrados

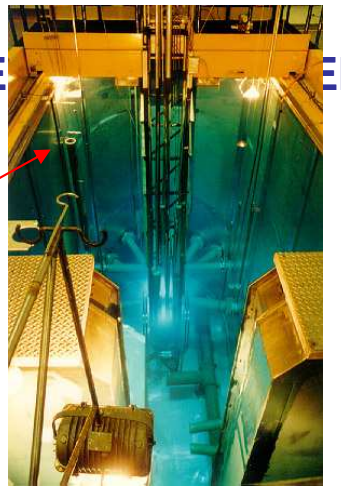
Centro de Tecnologia das Radiações (CTR)

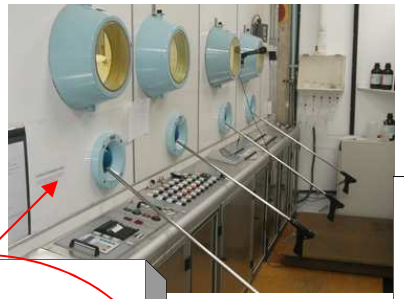
APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO



APLICAÇÕES DE [illegible]ENSAS DE RADIAÇÃO

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES





RADIOISÓTOPOS

Reator Nuclear Pesquisa

Aceleradores Ciclotron

Radiofármacos

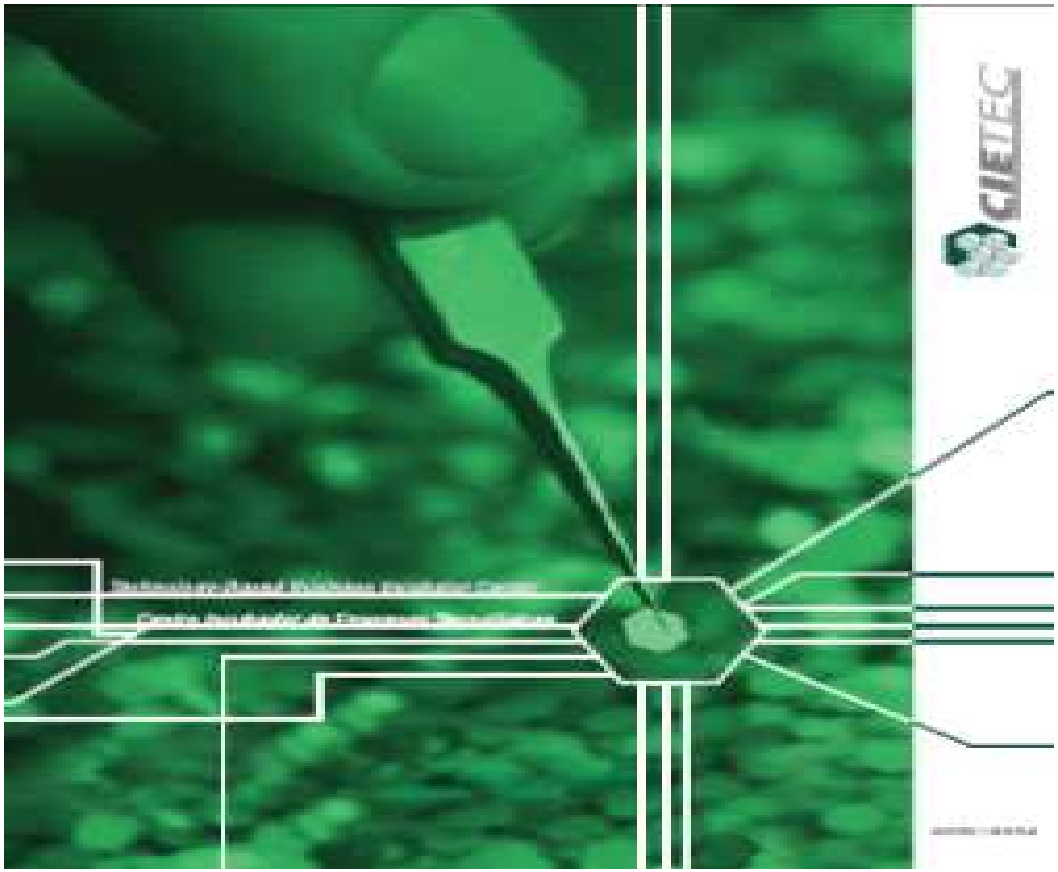
Medicina Nuclear

R$ 80 milhões
300 hospitais e clínicas
2 milhões procedimentos

Equipamentos de imagem

"Nosso compromisso é com a melhoria da qualidade de vida da população brasileira, produzindo conhecimentos científicos, desenvolvendo tecnologias, gerando produtos e serviços e formando recursos humanos nas áreas nuclear e correlatas"

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO



CIETEC

Centro de Inovação, Empreendedorismo e Tecnologia

Ao fim de 2008

- **121 empresas associadas e receita de R$ 42,1 milhões**
- **SEBRAE-SP investe R$ 820,6 mil, no total de R$ 5,9 milhões**
- **R$ 1,00 do SEBRAE-SP equivale a R$ 10,26 em impostos recolhidos**

Fonte: CIETEC

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

CENTRO DE TECNOLOGIA DAS RADIAÇÕES

“Aplicar a tecnologia das radiações e dos radioisótopos na Indústria, Saúde, Agricultura e no Meio Ambiente, produzindo conhecimento científico, transferindo tecnologia, formando recursos humanos e gerando produtos e serviços para os nossos clientes”

FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO E SUAS APLICAÇÕES

DEFINIÇÃO

- **Reatores Nucleares (Potência e Pesquisa)**
- **Aceleradores de Elétrons e de Partículas**
- **Irradiadores Gama**

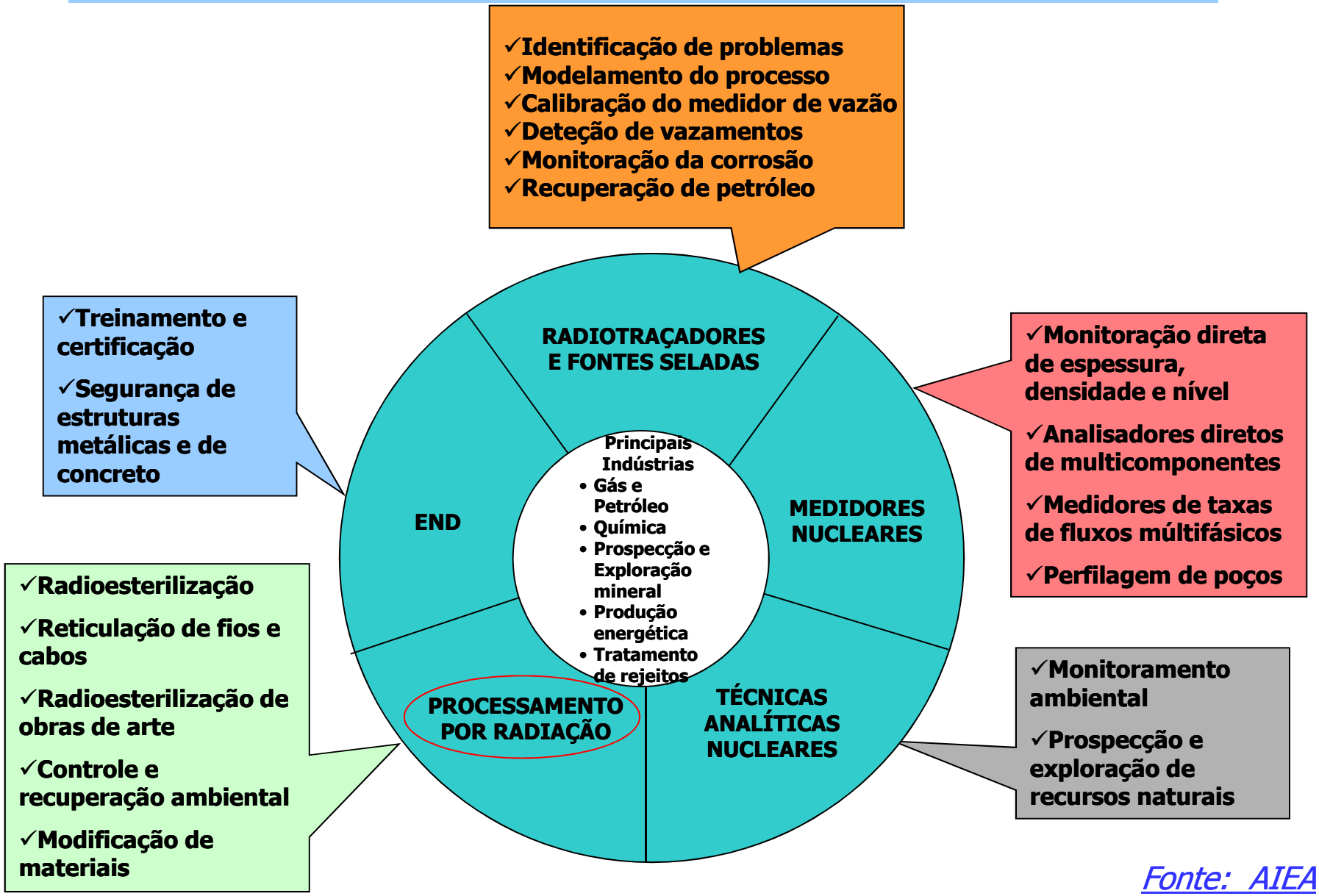
APLICAÇÕES BÁSICAS

- **Produzir fontes radioativas artificiais (^{60}Co, ^{137}Cs, ^{192}Ir , ^{75}Se, entre outras)**
- **Produzir reações físico-químicas (aplicações industrias, meio ambiente, agricultura e saúde)**
- **Produzir reações nucleares**

RADIAÇÕES IONIZANTES NO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

APLICAÇÕES DE TÉCNICAS NUCLEARES NA INDÚSTRIA



Fonte: AIEA

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

Instalações Radiativa	América do Sul	Brasil	Japão	USA	Mundo
IRRADIATORES GAMA (100 kCi – 10 MCi)	14	7 (+1)	> 8	> 30	> 260
ACELERADORES INDUSTRIAIS DE ELÉTRONS (200 keV – 10 MeV)	23	15	> 300	> 500	> 1,200

China : > 80 Irradiadores Gama
> 140 Aceleradores Industriais de Elétrons

Irradiadores Gama

Raios Gama (^{60}Co, ^{137}Cs) – alto poder de penetração

- **Água (1,0 g/cm^3) – 50 cm** (^{60}Co = 1,25 MeV)
- **Taxa de dose – 10 kGy/h**
- **Aplicações: produtos diversificados, materiais espessos e de alta densidade**

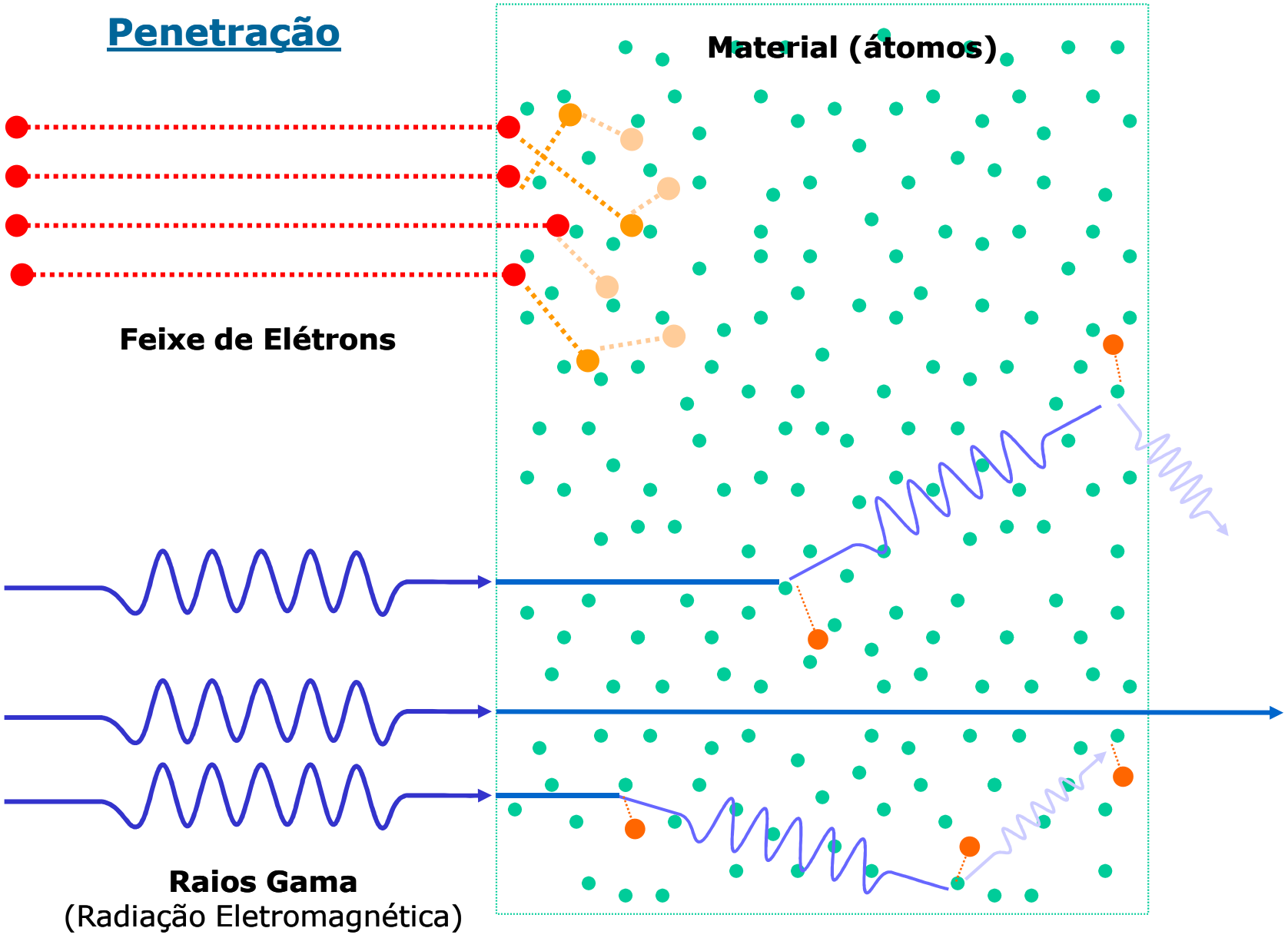
Aceleradores Industriais de Elétrons

Feixe de elétrons de alta energia – alta taxa de dose

- **Água (1,0 g/cm^3) – 5,0 cm** (Acelerador de 10 MeV)
- **Taxa de dose – 72 MGy/h** (Acelerador de 10 MeV e 50 kW)
- **Aplicações: produtos bem definidos, grandes superfícies espessuras finas**

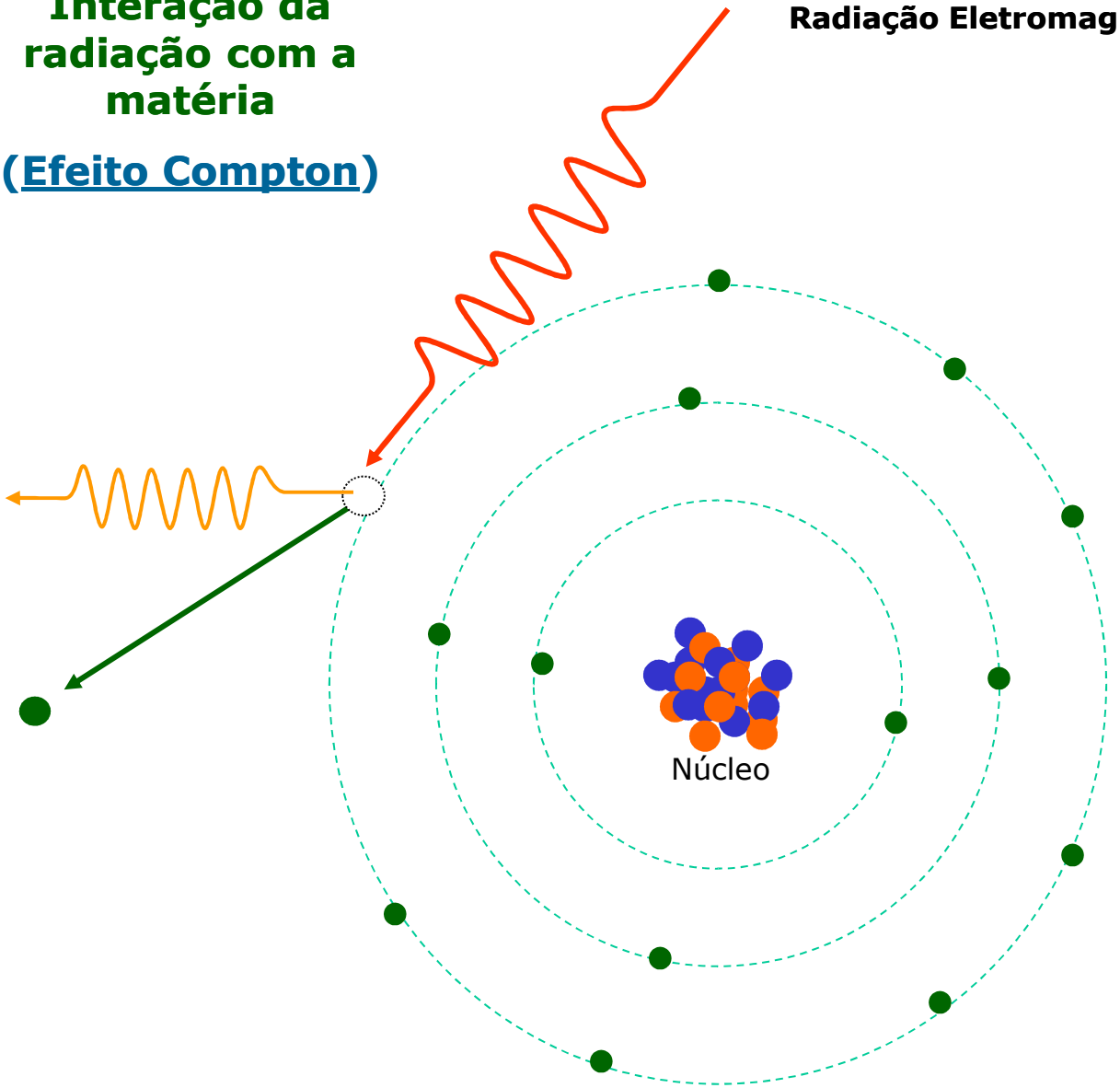
APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

Penetração



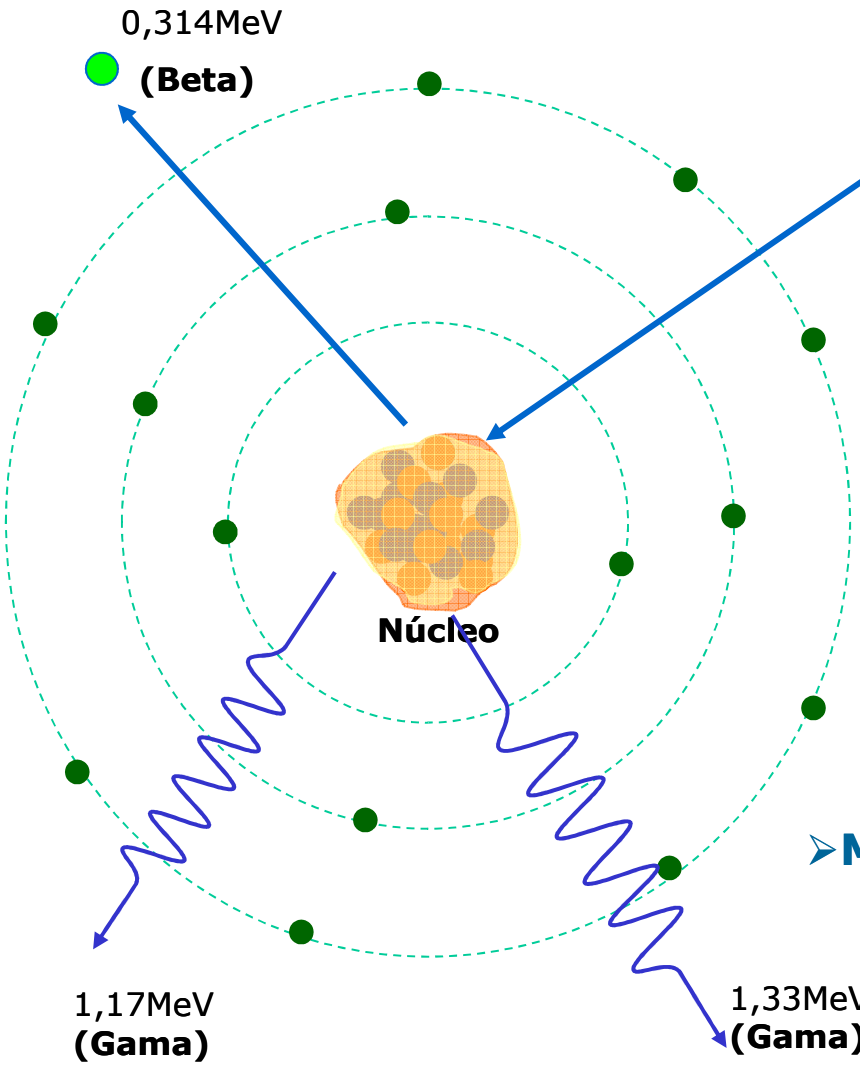
Interação da radiação com a matéria

(Efeito Compton)



IRRADIADORES GAMA E SUAS APLICAÇÕES

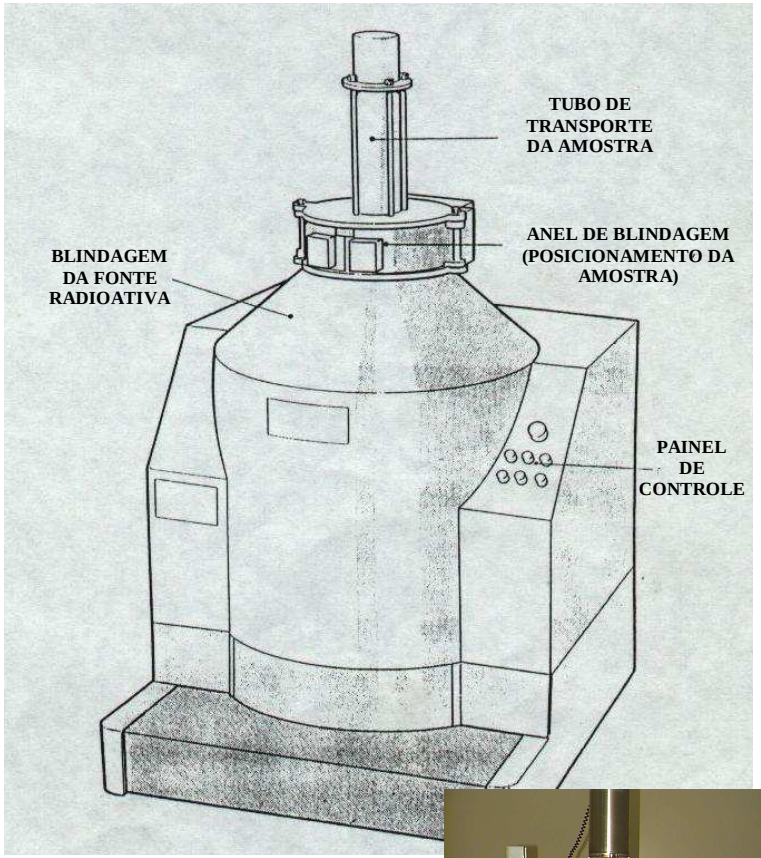
Cobalto-60 - Ativação do Cobalto-59 e decaimento para Níquel-60



➢Meia-vida = 5,25 anos

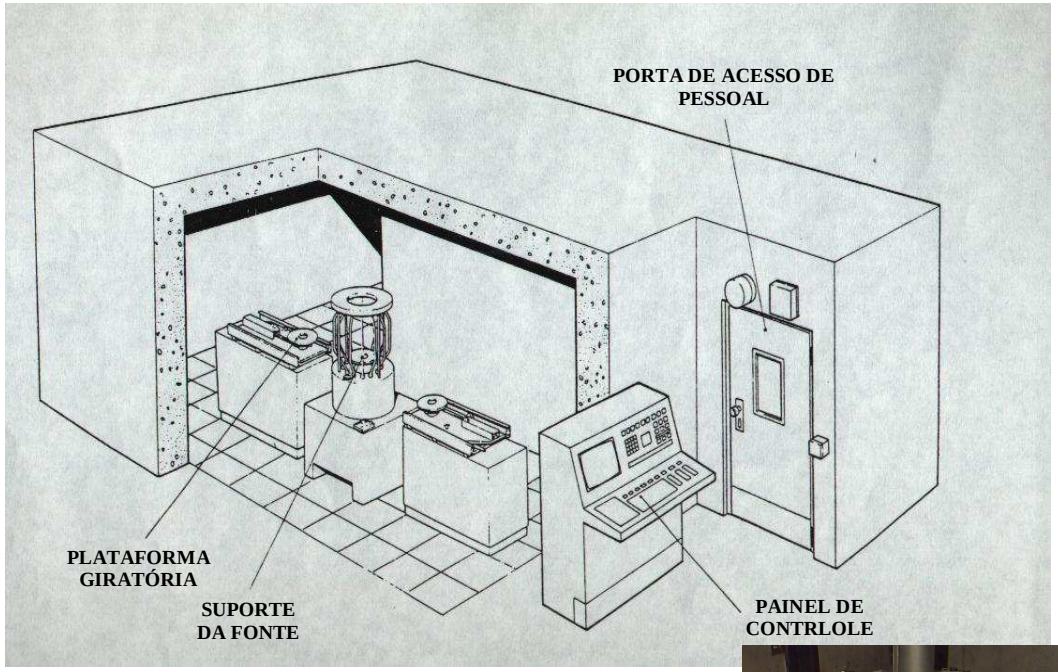
APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

Segurança: IAEA Safety Series SSG-8 classifica os irradiadores gama em quatro categorias, com base no projeto, acessibilidade e tipo de blindagem das fontes radioativas:



CATEGORIA I

Gammacell



CATEGORIA II

Panorâmico

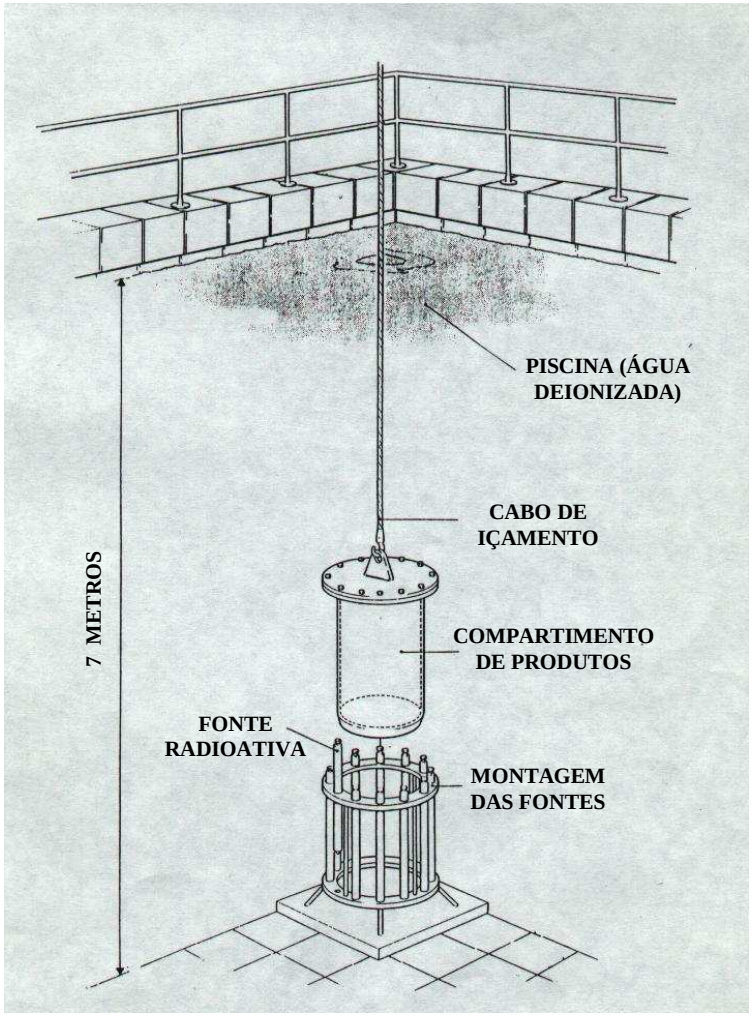
APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

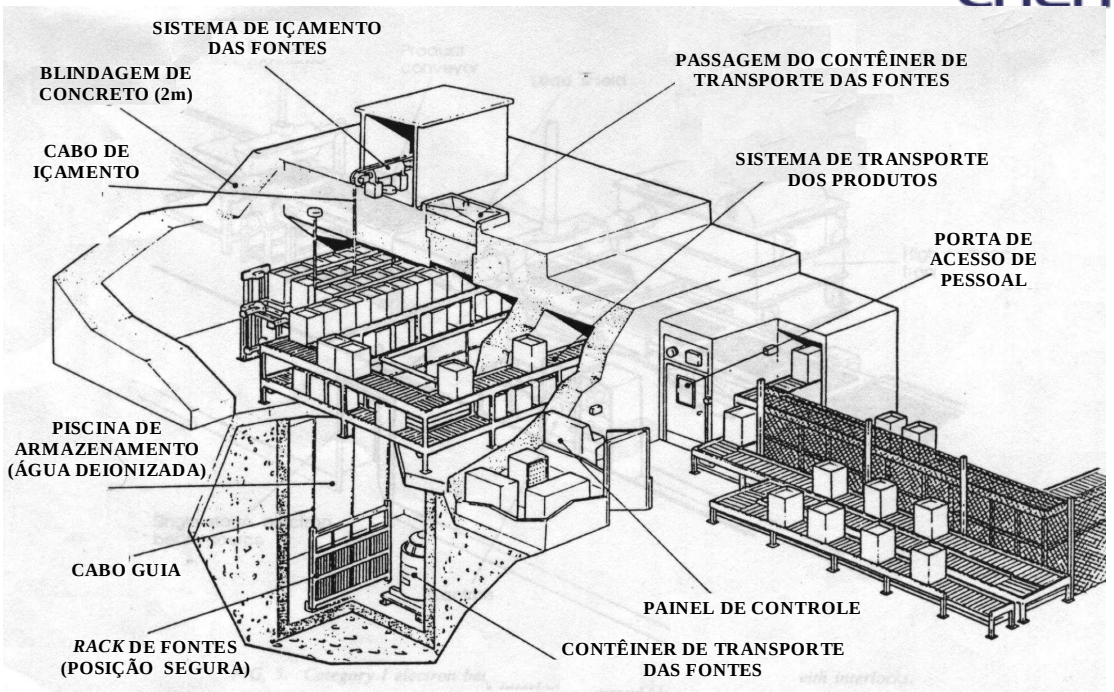
IRRADIADOR GAMA PANORÂMICO

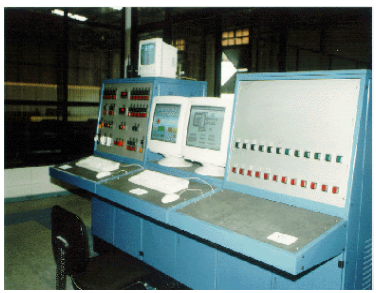
Irradiador MDS Nordion/Canadá
(Categoria II – AIEA)

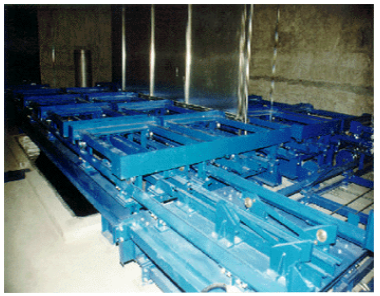
Fonte: CDTN/CNEN-MG

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO









CATEGORIA III - Piscina

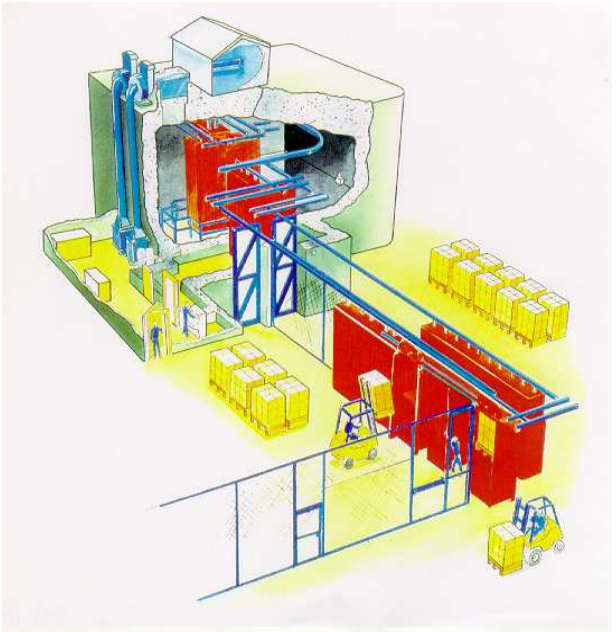
CATEGORIA IV - *Tote Box, Carrier, Pallet*

Irradiador de Grande Porte (Tecnologia Nacional)

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

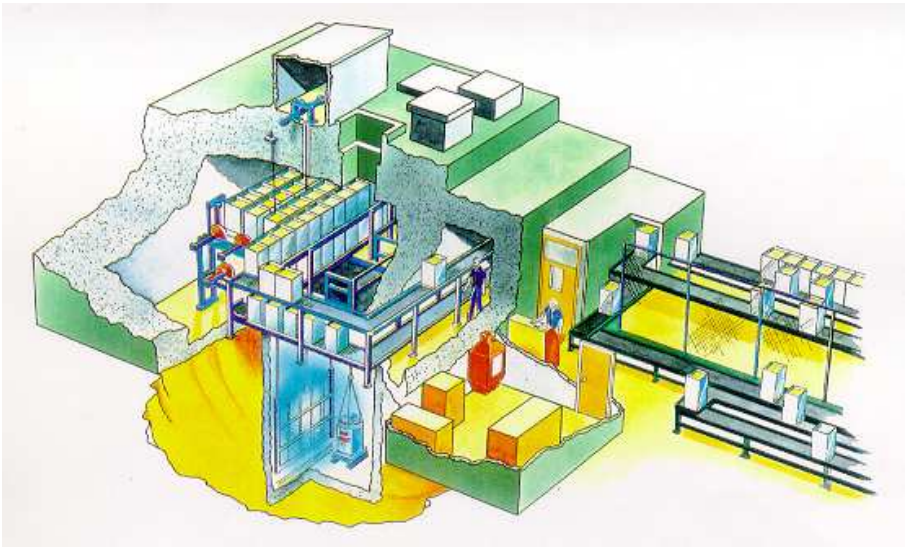
SISTEMAS DE TRANSPORTE DOS PRODUTOS

⇒ ***Carrier***



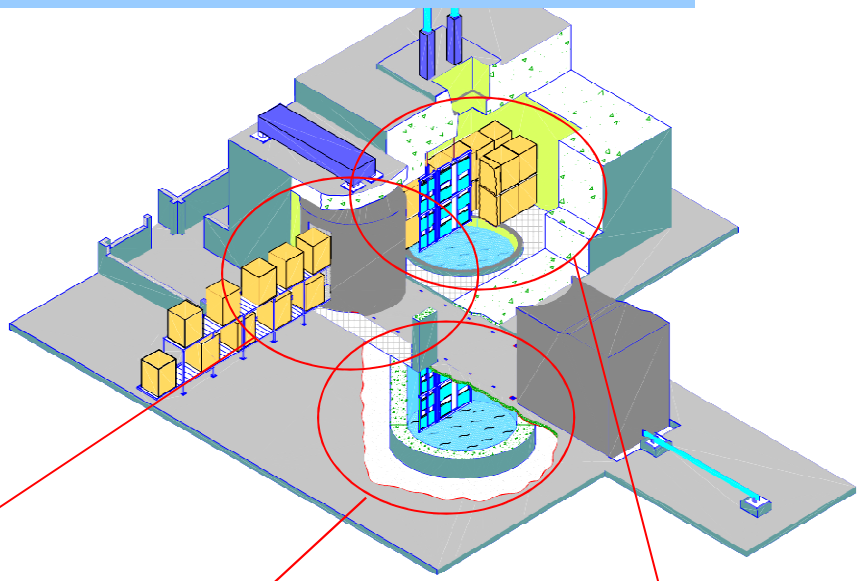
⇒ ***Pallets*****: reduz o custo de manuseio dos produtos, com aumento na uniformidade de dose**

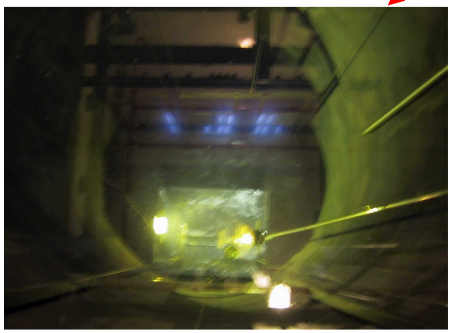
⇒***Tote*****: mais eficiência do ^{60}Co, melhor uniformidade de dose, mas menor flexibilidade nas dimensões dos produtos**



APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

IRRADIADOR GAMA MULTIPROPÓSITO





FUD/ Eficiência:
1,33 / 11,6% (0,09g/cm³)
2,08 / 36,6% (0,49g/cm³)

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

COMPANHIA BRASILEIRA DE ESTERILIZAÇÃO (CBE)

Irradiator Gama com Tecnologia Nacional (3MCi)

***Fonte*: CBE-EMBRADAD**

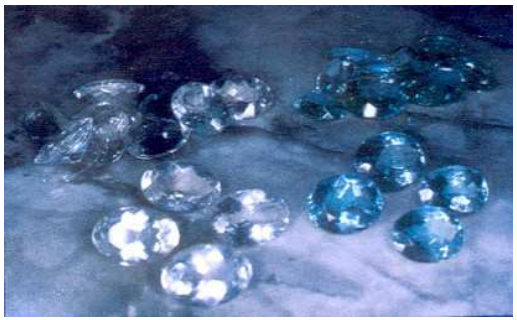
APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

EMPRESA BRASILEIRA DE RADIAÇÕES (EMBRARAD)

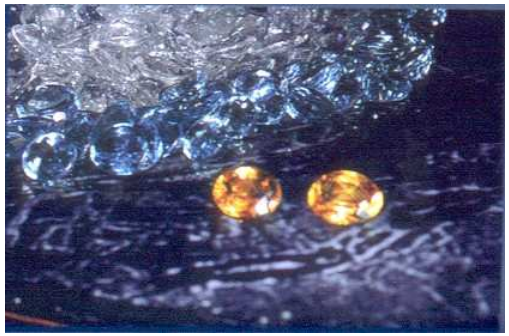
Irradiadores Gama MDS Nordion/Canadá

(Categoria IV – AIEA)

Quartzo branco → Green gold



Topázio



Berílio azul

Fonte: CBE-EMBRADAD

IRRADIADORES GAMA E SUAS APLICAÇÕES

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

- **Ração Militar (10 - 50 kGy)**
- **Batatas e Cebolas (0,05 – 0,15 kGy)**
- **Pães (2 - 10 kGy)**
- **Morangos (0,2 - 1,0 kGy)**

IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

BENEFÍCIOS NA IRRADIAÇÃO DE TURFA

SOJA

SOJA

(Turfa irradiada e *Bradyrhizobium*)

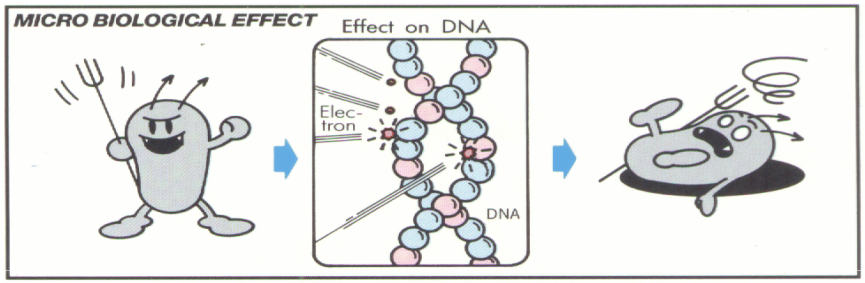
BRASIL: Plantação de soja com turfa irradiada

- Maior consumidor e produtor de soja
- 23,7 milhões de hectares (60% - 70% da área total)
- Economia de US$ 2,5 bilhões em nitrogênio/ano
- Aumento na produtividade em 8%

Fonte: EMBRAPA

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

ESTERILIZAÇÃO DE PRODUTOS MÉDICOS, CIRÚRGICOS E BIOLÓGICOS



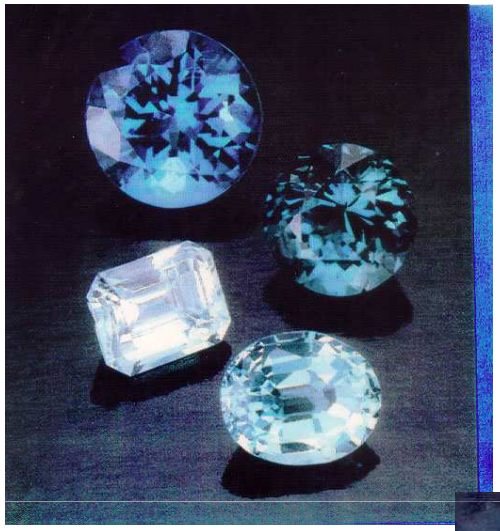
APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

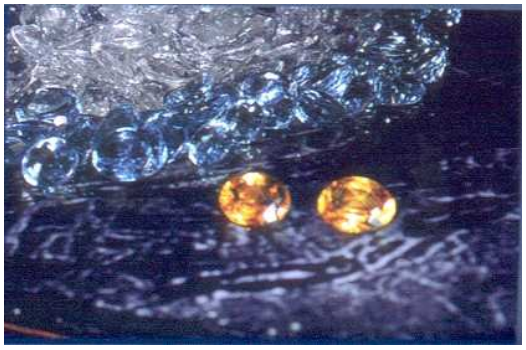
BANCO DE TECIDOS BIOLÓGICOS

ALaBaT
ASOCIACION LATINOAMERICANA
DE BANCOS DE TEJIDOS

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

INDUÇÃO DE CORES EM PEDRAS PRECIOSAS





Topázio, Rubelita, Quartzo, Citrino, Ametista

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

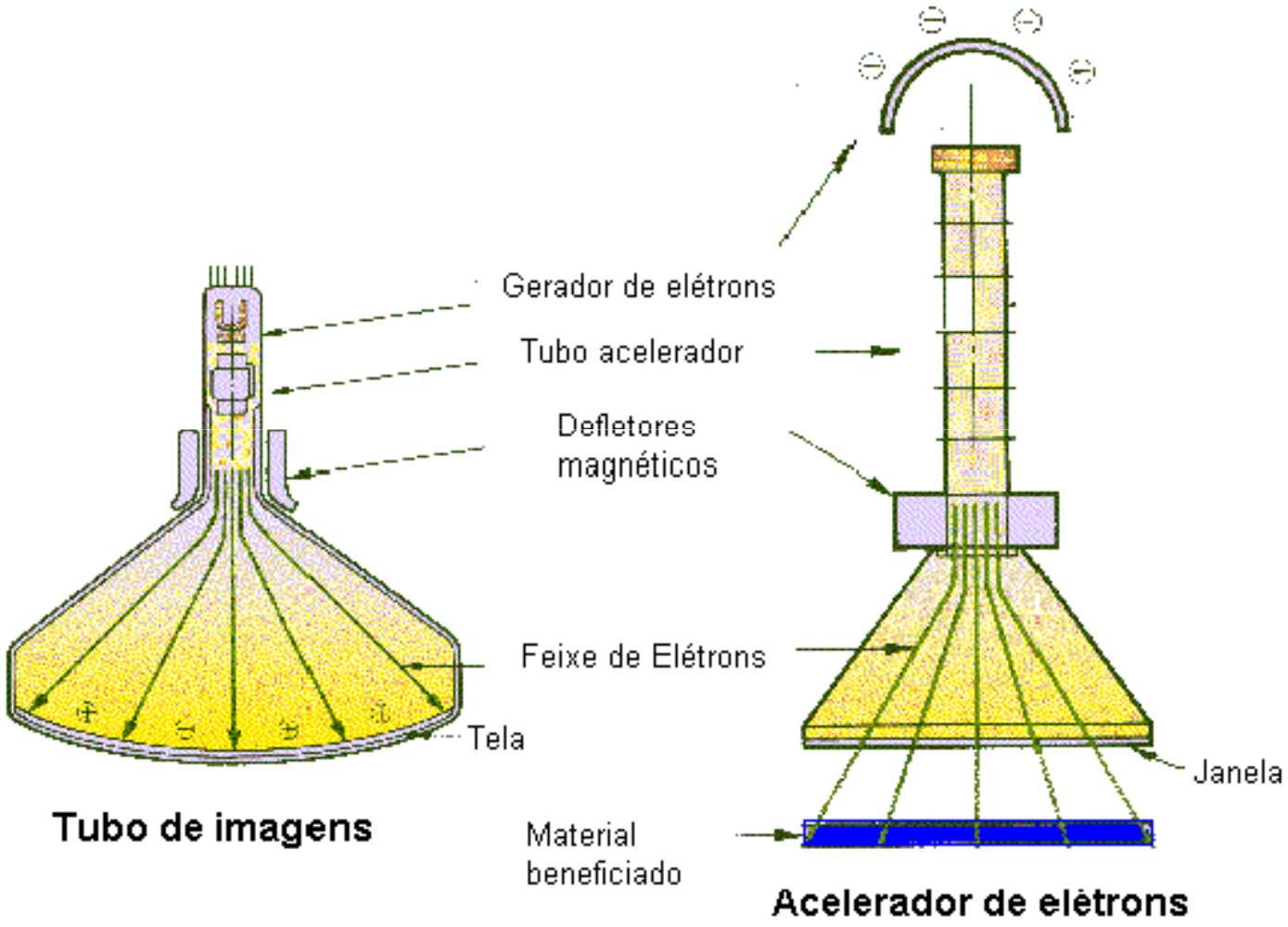
RAIOS GAMA (^{60}Co) NA REDUÇÃO DA CONTAMINAÇÃO POR FUNGOS

**(Obra-de-Arte do século XVII,
do pintor peruano Leonardo Flores;
1,90x3,20m; 6kGy)**

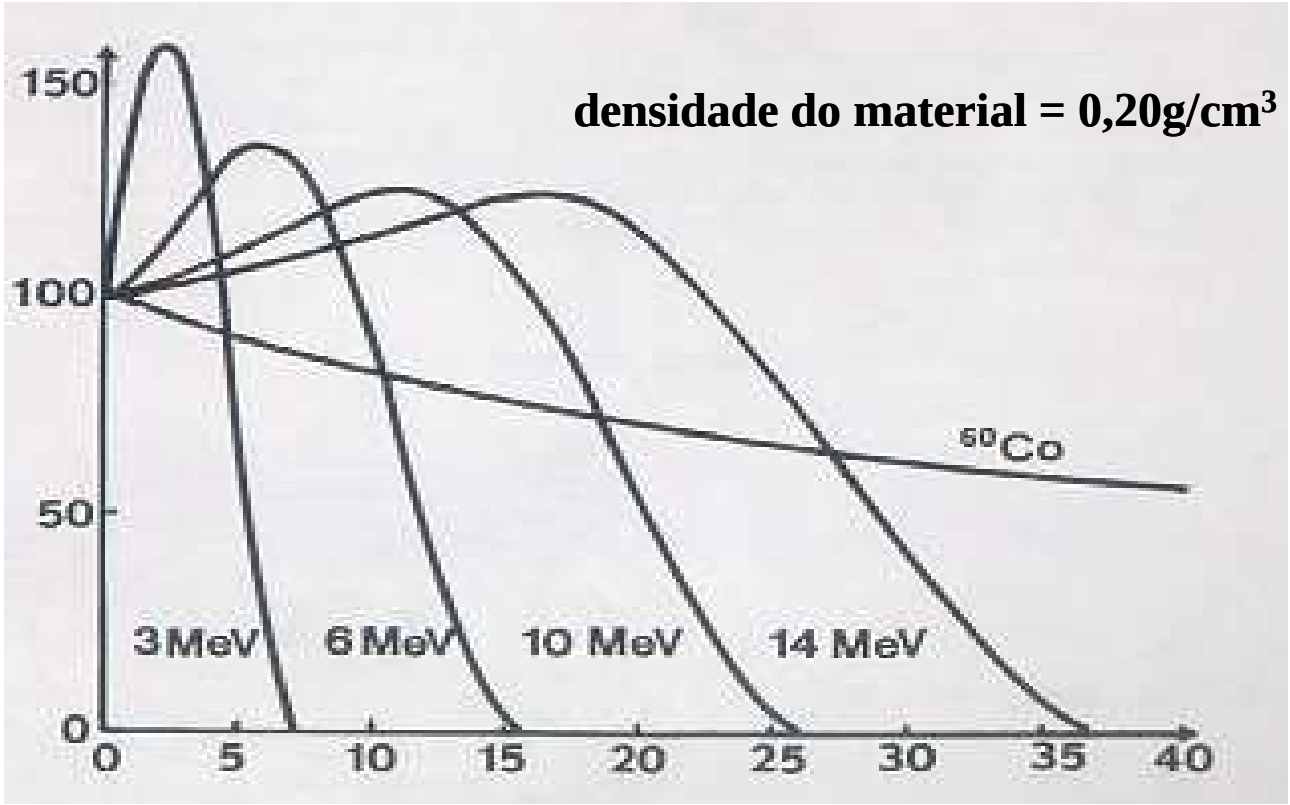
ACELERADORES DE ELÉTRONS E SUAS APLICAÇÕES

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

Princípio de Funcionamento do Acelerador de Elétrons



Dose Relativa (%)



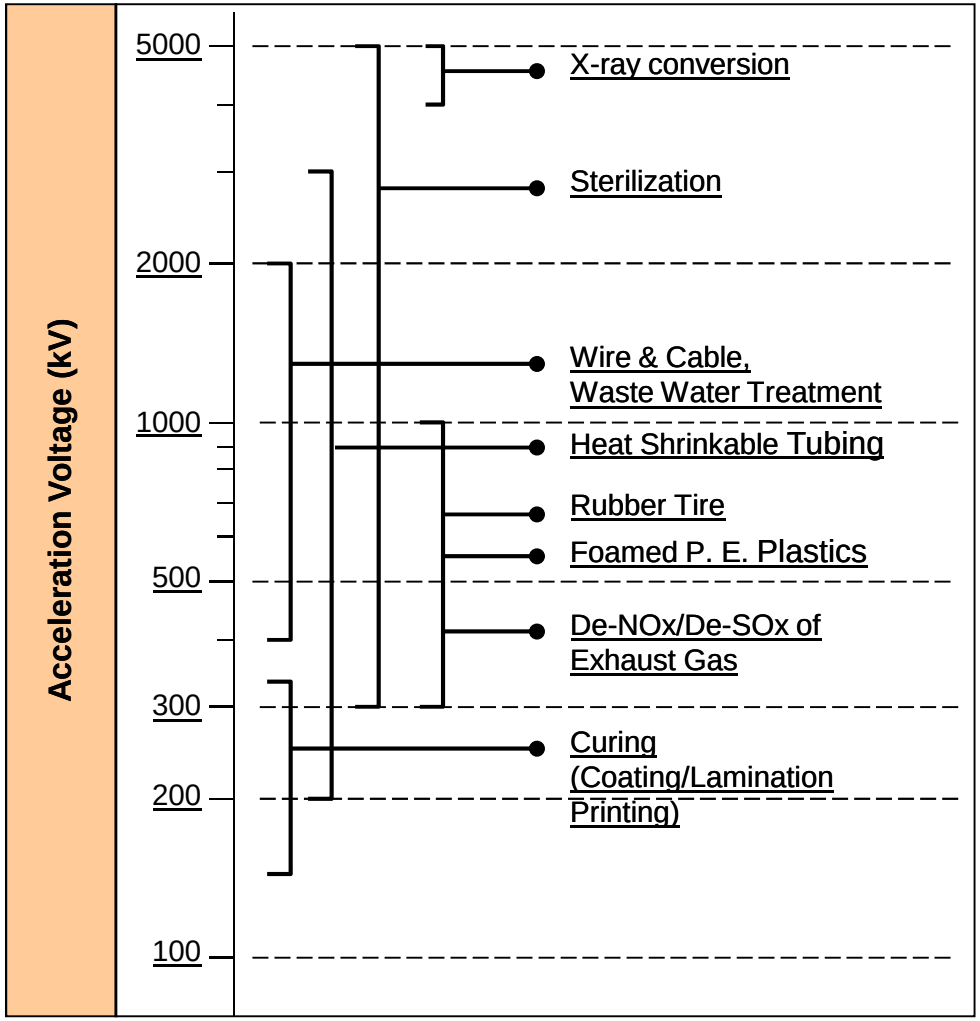
Espessura (cm)

Penetração da radiação gama/elétrons de alta energia: inversamente proporcional à densidade do produto

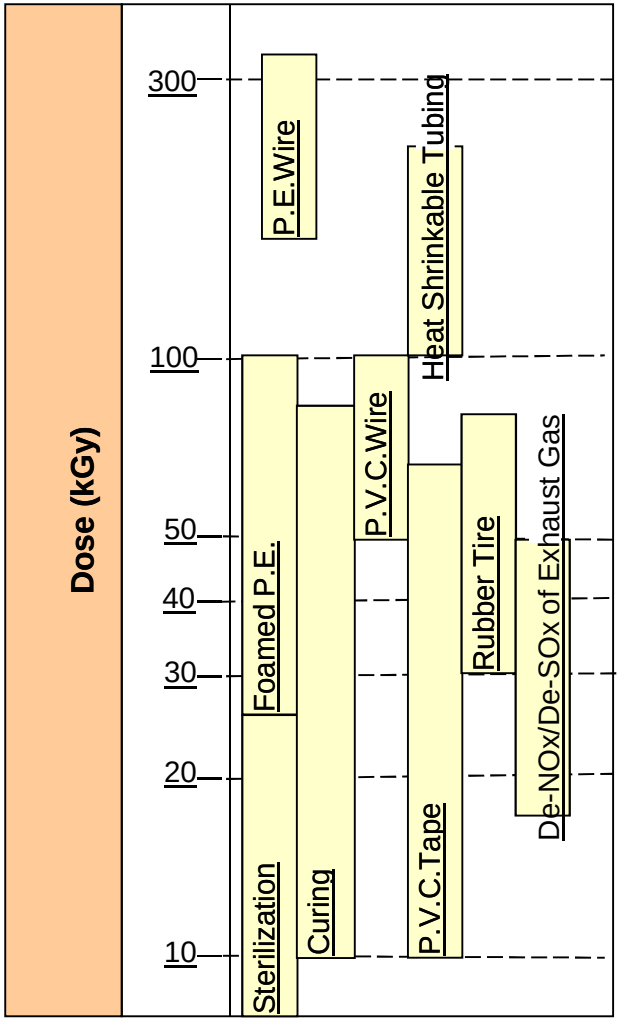
APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

ELECTRON BEAM APPLICATIONS

Acceleration Voltage X Application



Dose X Application



Source: IAEA

Classificação dos Aceleradores de Elétrons (função da energia do feixe de elétrons)

- **Baixa energia: 150keV to 300keV**
- **Média energia: 300keV to 5MeV**
- **Alta energia: 5MeV to 10MeV**

Vantagens e Limitações no Processamento por Feixe de Elétrons

- **Vantagens: alta velocidade de processamento de produtos bem definidos e de grandes superfícies com espessuras finas**
- **Limitações: baixo poder de penetração**

SAFETY SERIES SSG-8

Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities

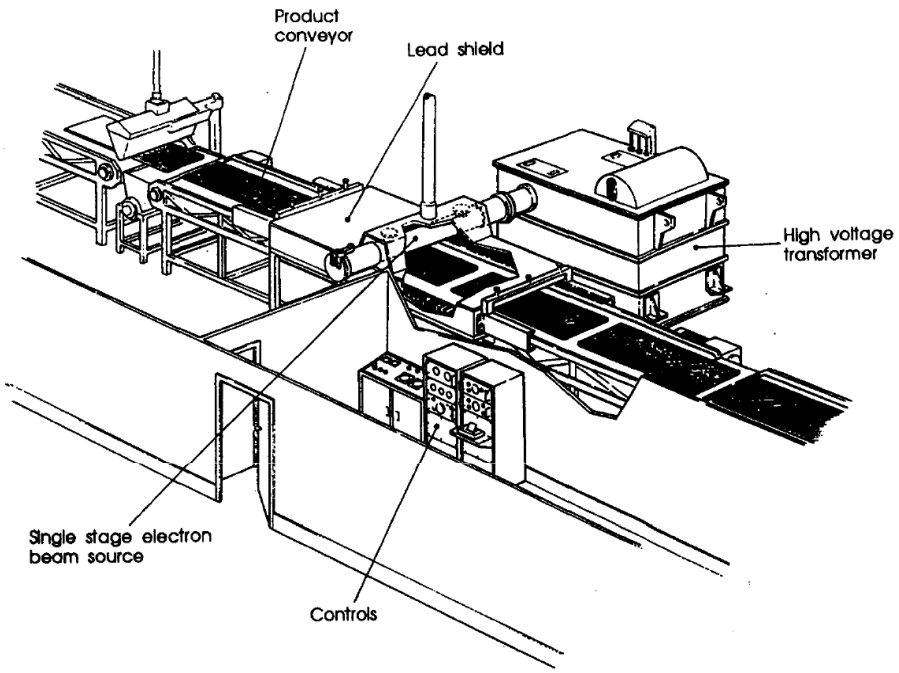


FIG. 5. Category I electron beam facility: an integrally shielded unit with interlocks.

Categoria I

Categoria II

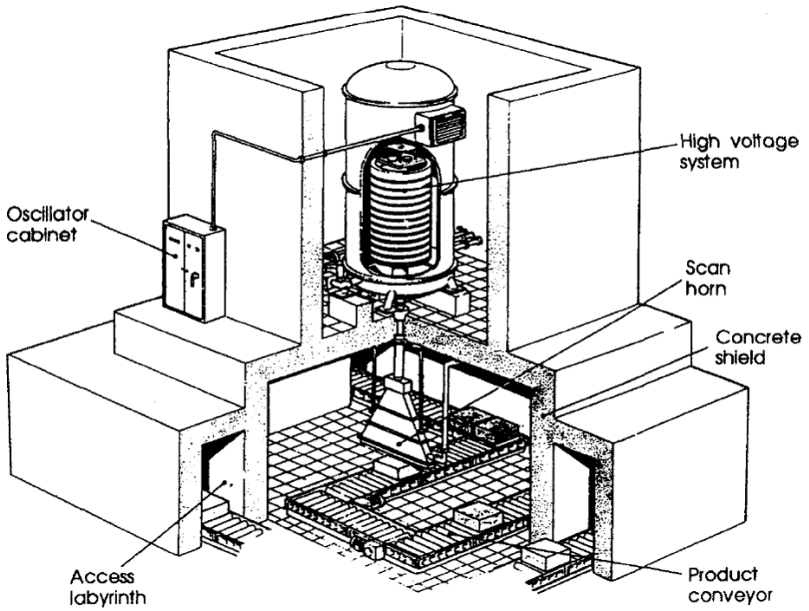


FIG. 6. Category II electron beam facility: a unit housed in shielded rooms maintained inaccessible during the irradiation process.

Electron Beam Accelerators

Low-energy: 150 keV – 300 keV

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

UV/EB RADIATION CURING

e^5

efficient

enabling

economical

energy savings

environmental friendly

RadTech South America

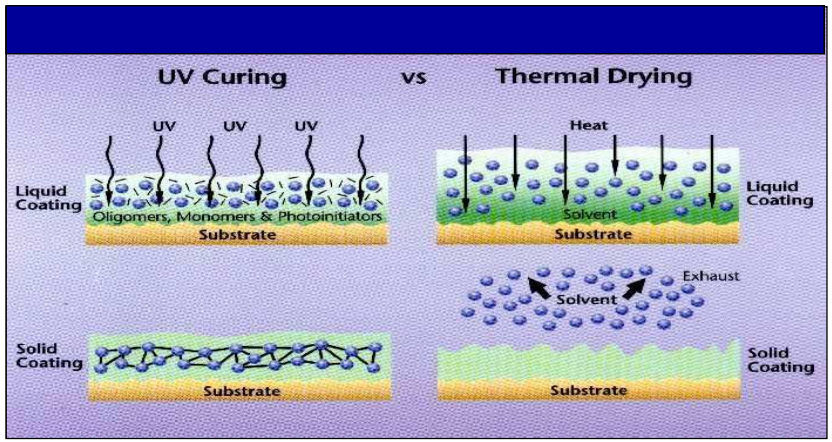
APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

UV/EB RADIATION CURING - PERFORMANCE

EB versus UV (Free Radicals)

- ✓ High energy
- ✓ High crosslinking density
- ✓ High penetration into opaque materials
- ✓ No photoinitiators
- ✓ Speed cure at hundredths of seconds

- ✓ Effectiveness on thin layers materials
- ✓ Elaborate formulation for thick layers
- ✓ Low penetration limited to clear materials
- ✓ Photoinitiators need
- ✓ Speed cure at tenths of seconds



Electron beam curing has several advantages over conventional thermal curing methods: Improved parts; improved material handling; ability to combine various materials and functions in a single operation; ability to utilize lower cost tooling; and reduced cure times

Source: RadTech South America

UV/EB RADIATION CURING - Equipments

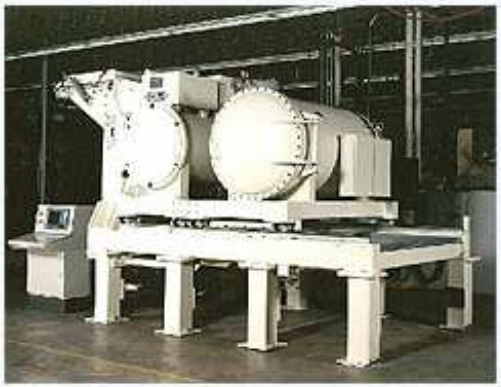
Energy Scineces, Inc. (ESI)

(www.ebeam.com)

Web widths: 20 to 66” (508 to 1,676 mm)

Speed capability: 335 m/min

Thickness: 0.03 mm



Web widths: 30 to 120” (762 to 3,048 mm)

Speed capability: 305 m/min

Thickness: 0.35 mm

Source: ESI

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

UV/EB RADIATION CURING - Equipments

PCT Engineered Systems, LLC

(www.teampct.com)

Voltage: 70 to 125 keV

Web widths: 36”(914mm) to 68”(1,727mm)

Voltage: 125 to 300 keV

Web widths: 130” (3,300 mm)

Source: PCT

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

ELECTRON BEAM (EB) CURING

ENERGY

Voltage (keV)	Layer thickness (µm)
150	100
175	150
200	250
300	500

VELOCITY PROCESSING

Dose (kGy)	Velocity (m/min)	Applications
20	0-600	Silicone application
30	0-600	Printing
60	0-200	Adhesives

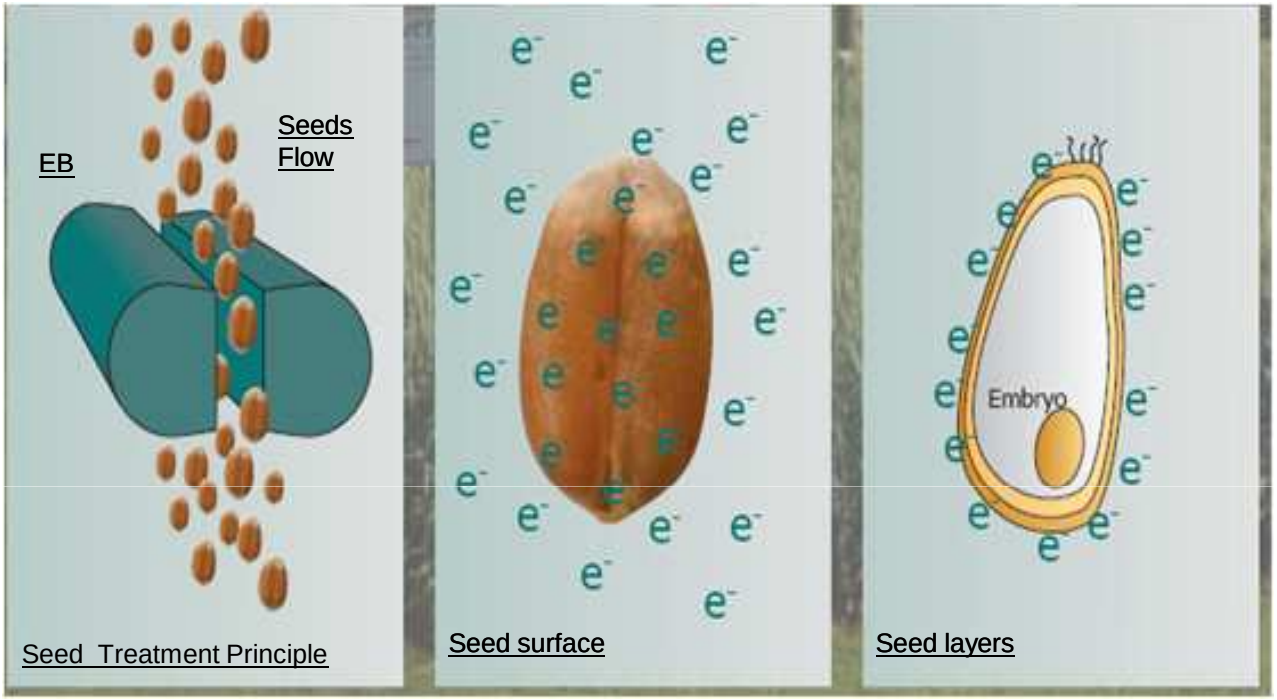
ITEMS	DURABILITY
Titanium window	2,000 hours
Tungsten Filament	10,000 hours
O-rings	2,000 - 5,000 hours
Maintenance time *	20 - 30 hours/year

* Maintenance cost per year = ~ 5% of the Electron Beam Accelerator's price

Source: IPEN-CNEN/SP

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

DISINFESTATION OF SEEDS

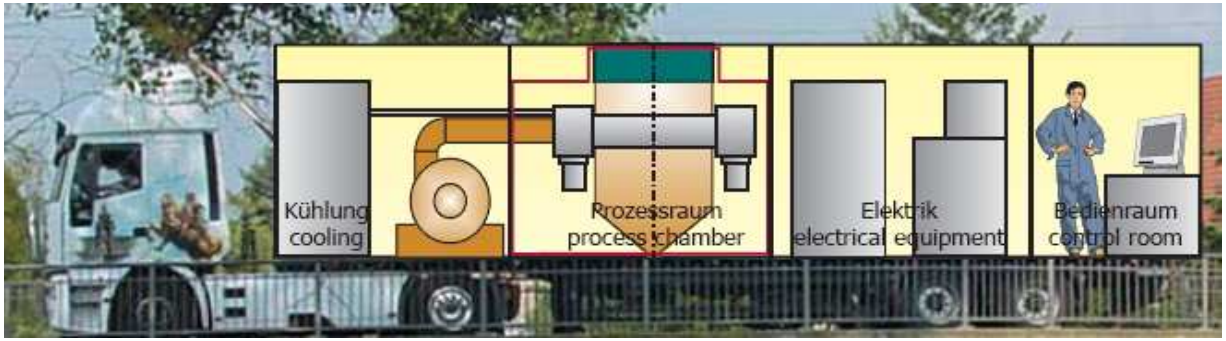


Low Energy Electron Beam (105 to 145 keV)

Disinfestation:

Chemical = 5%
EB = 11%

E-ventus (30 tons/h, € 35/ton, € 1.5 million)



Sources: Fraunhofer Institut-FEP (DRESDEN, Schimdt Seeger AG)

Electron Beam Accelerators

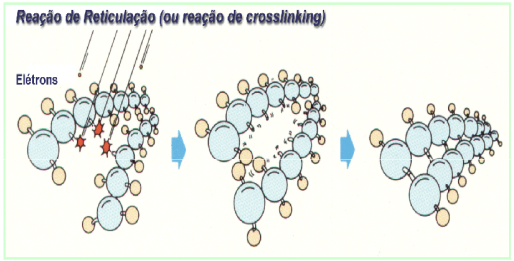
Mid-Energy: 300 keV - 5 MeV

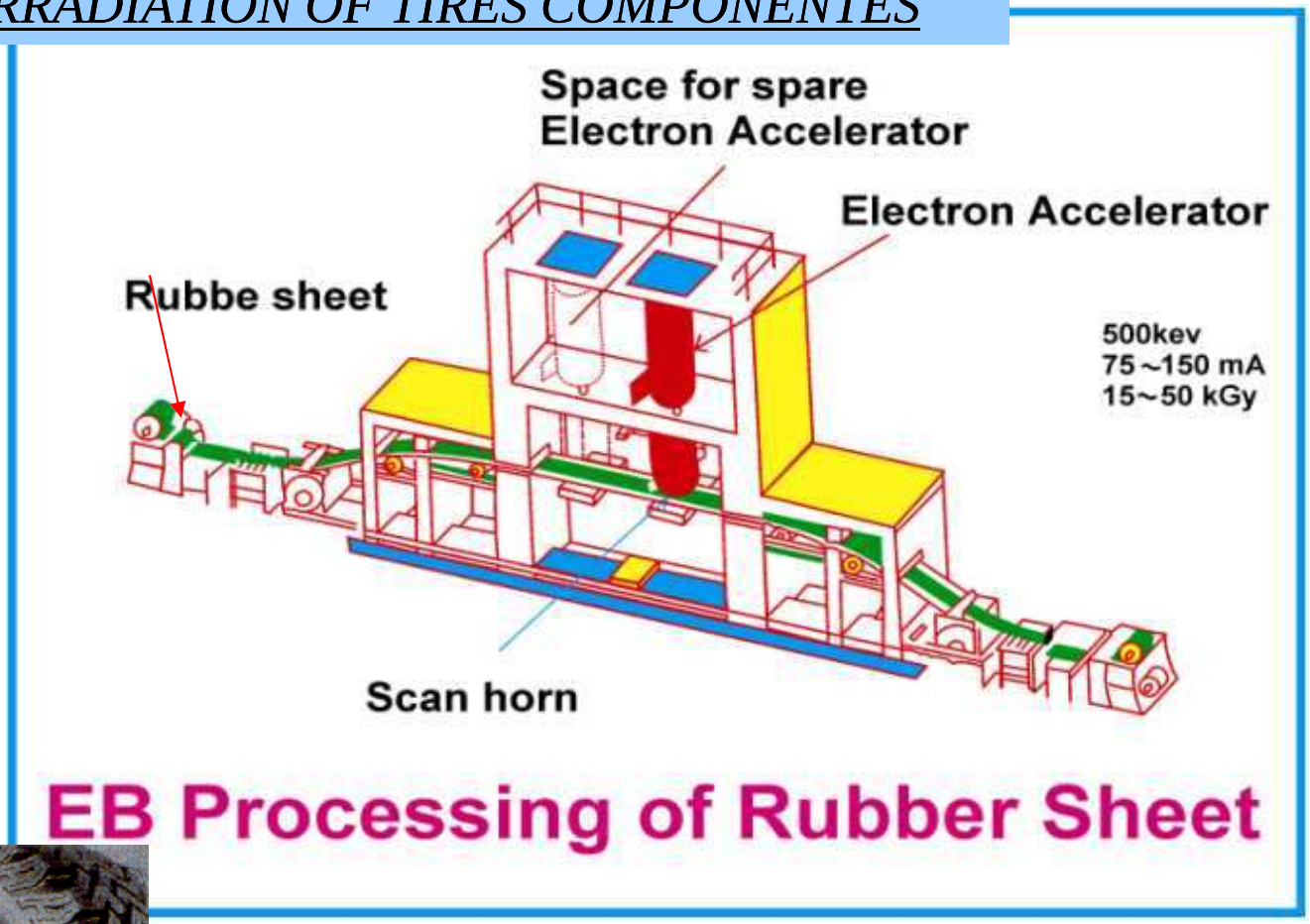
APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

IRRADIATION OF TIRES COMPONENTES

Japan: Automobiles

tires = 95%





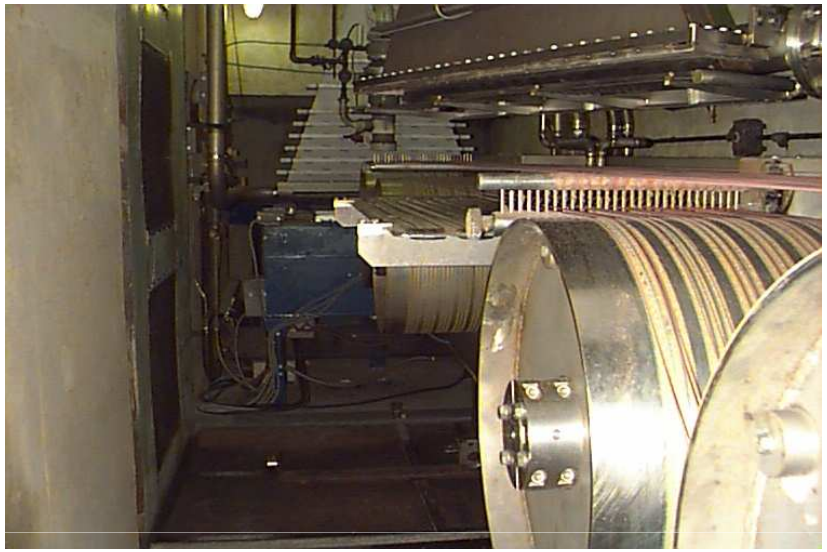
BRAZIL: Bridgestone-Firestone

Source: IPEN-CNEN/SP

INDUSTRIAL ELECTRON BEAM ACCELERATORS (IPEN-CNEN/SP)

97.5kW (1.5MeV and 65mA)

37.5kW (1.5MeV and 25mA)

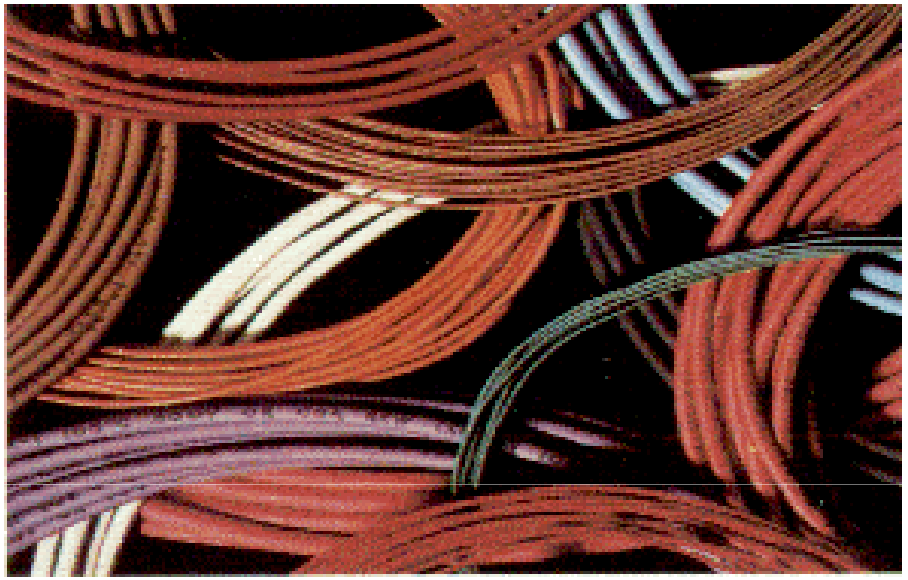


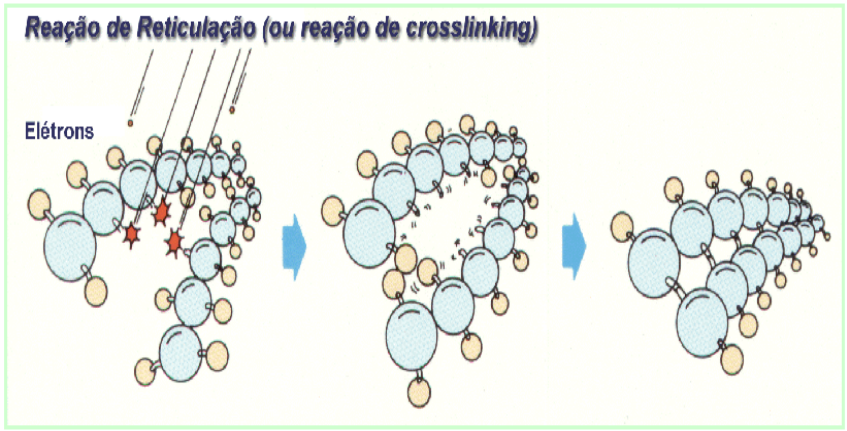
Conveyer: 0.42 - 6.72 m/min

Source: IPEN-CNEN/SP

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

IRRADIATION OF WIRE AND ELECTRIC CABLES



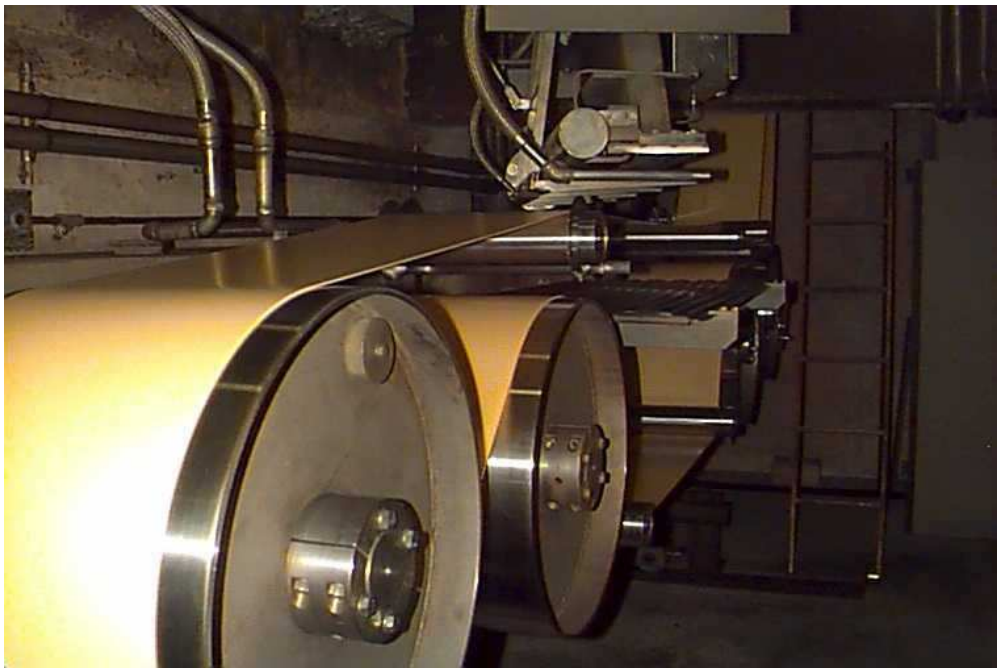


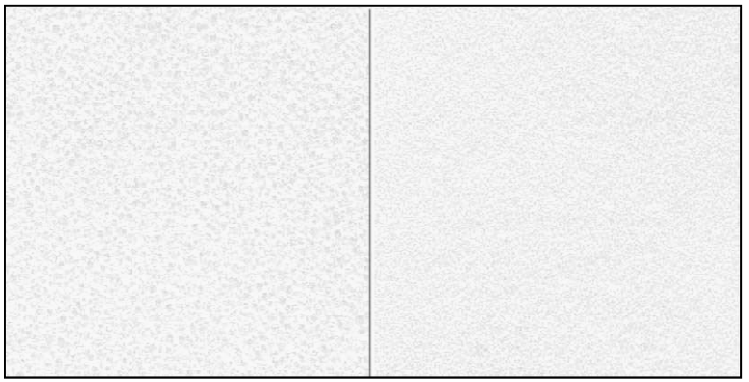
IPEN-CNEN/SP: 12,500 km (2002)

Source: IPEN-CNEN/SP

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

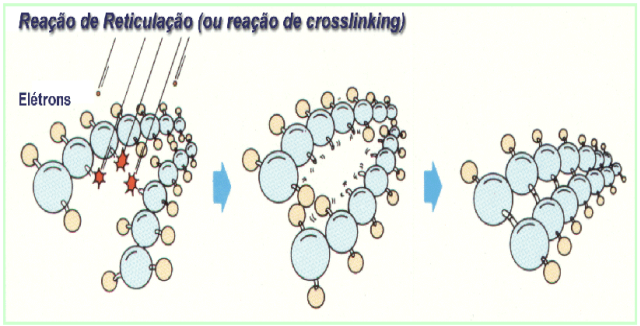
CROSSLINKING OF POLYETHILINE FOAM





Chemical Crosslinking

Crosslinking by irradiation



Source: IPEN-CNEN/SP

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

SEMICONDUCTORS IRRADIATION and POLYMER DEGRADATION

Powered Diodes Assembling

PTFE (Teflon™)

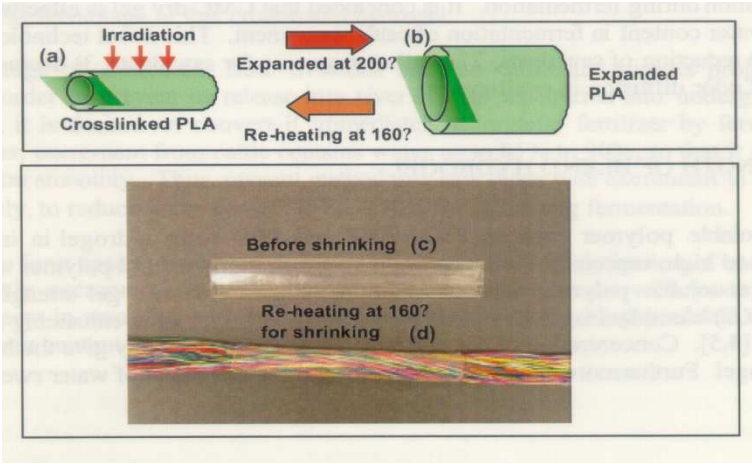
Printing Inks and lubricants

Source: IPEN-CNEN/SP

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

HEAT SHRINKABLE TUBES IRRADIATION

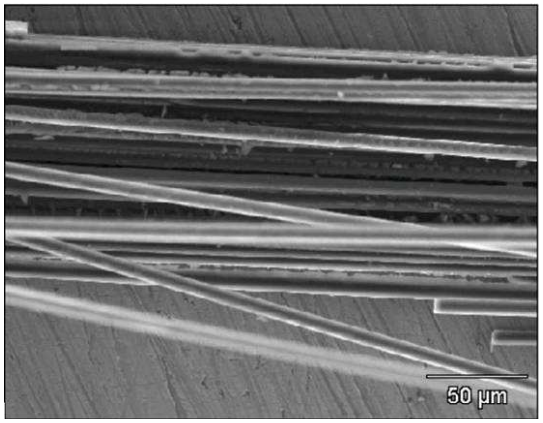
Heat Shrinkable tubes
(80-200kGy)



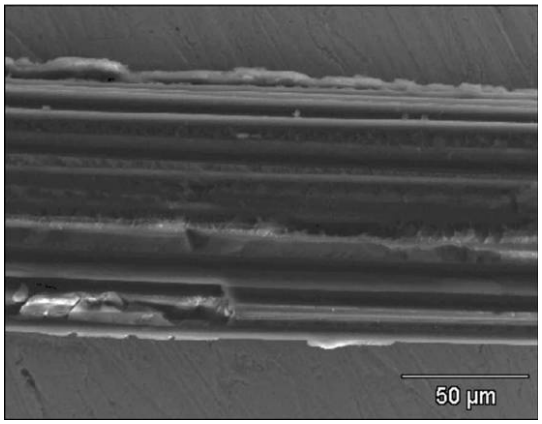
Source: IPEN-CNEN/SP

COMPOSITES / CARBON FIBERS IRRADIATION

Carbon Fiber Composites (12k)



Non-Irradiated



Carbon Fibers Irradiated by EB (50-300kGy)

Composite test specimens

(6k) (12k)

Composites test specimens:

(a, a') non-irradiated, after breakage;

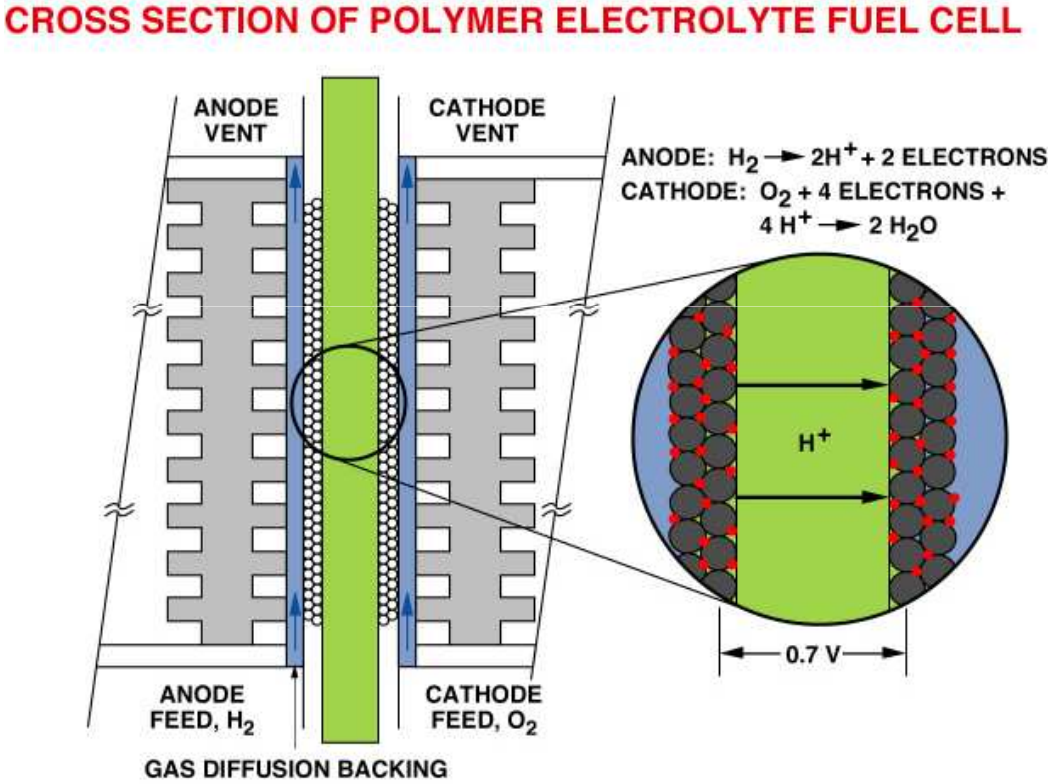
(b, b') before tensile test

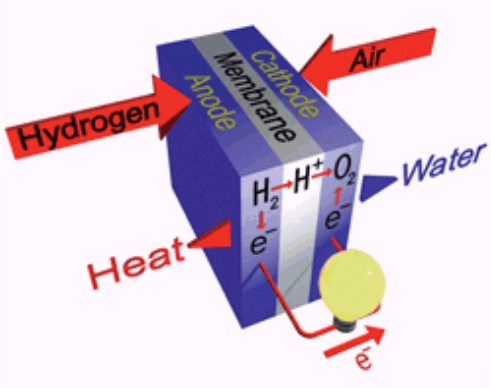
(c, c') irradiated with 300 kGy, after breakage

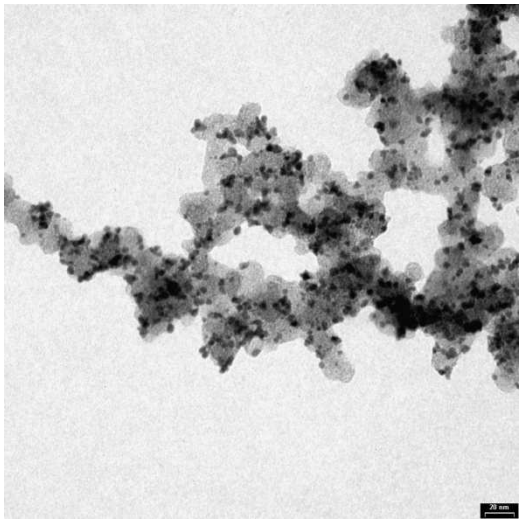
Source: IPEN-CNEN/SP

PtRu/C ELECTROCATALYST PREPARED USING ELECTRON BEAM IRRADIATION

Fuel Cells







Irradiation of Electrocatalyst - PtRu/C (1-15kGy)

Source: IPEN-CNEN/SP

IRRADIATED GRAFTING ION-EXCHANGE MEMBRANES FOR FUEL CELLS APPLICATION

proton exchange membrane fuel cells - PEMFC

mechanical resistance

thermal resistance

before

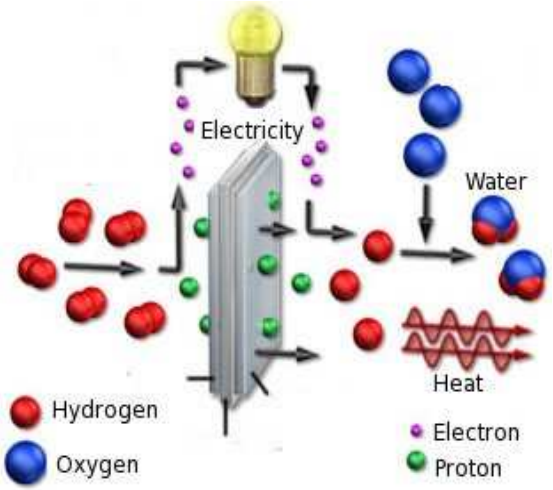
crosslinking through radiation

after

grafting through radiation

polytetrafluoroethylene (PTFE), polyvinyl difluoride (PVDF) and polypropylene (PP) films grafted by irradiation with styrene and lately sulfonated

EB



diffusion aspects description

Source: IPEN-CNEN/SP

TECNOLOGIA POR FEIXE DE ELÉTRONS NO CONTROLE DE POLUENTES

Flue gas Purification

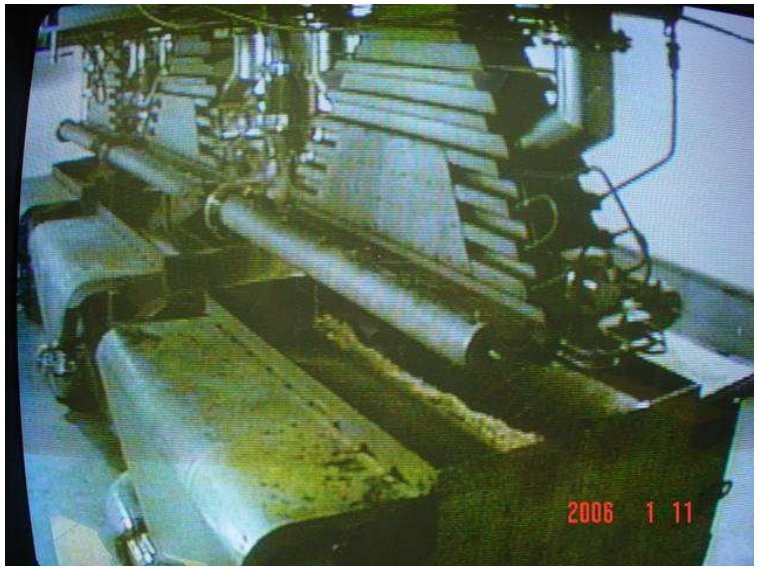
Wastewater Treatment

Sludge Hygienization

Fonte: EB-Tech

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

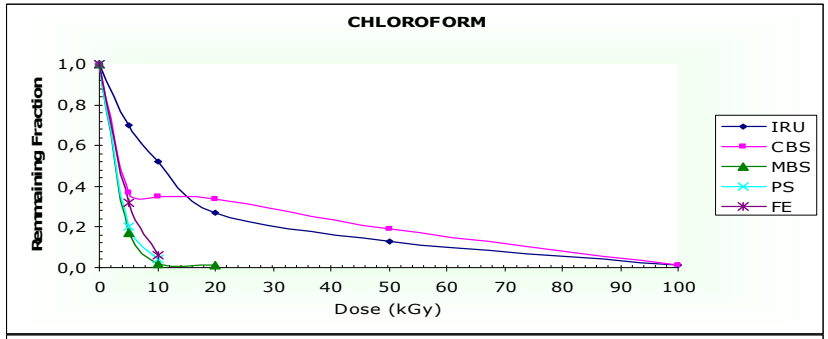
TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

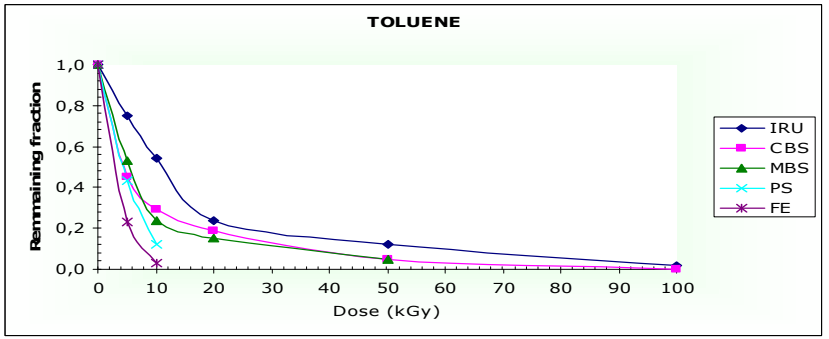


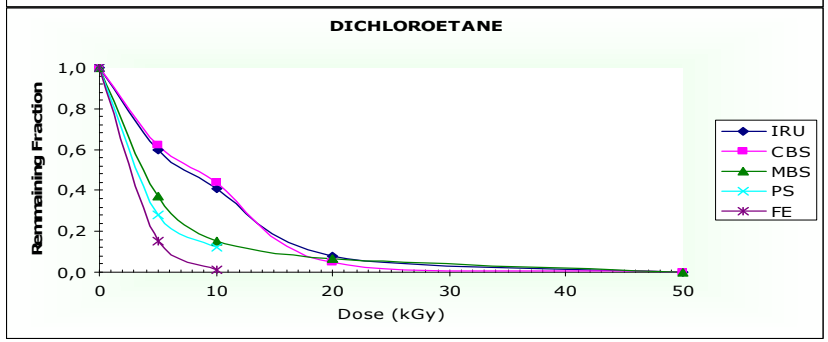
Fonte: EB-Tech

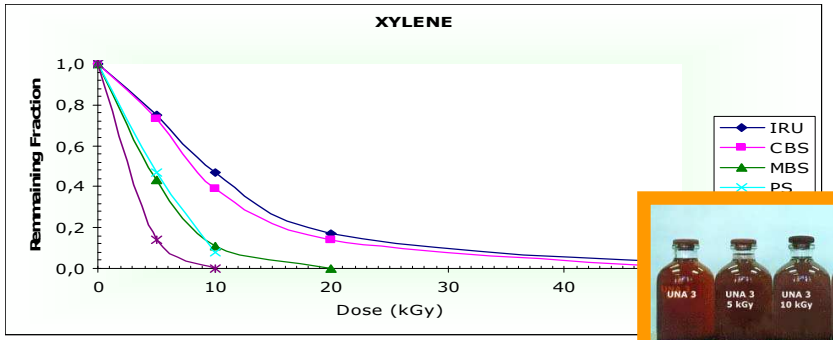
APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

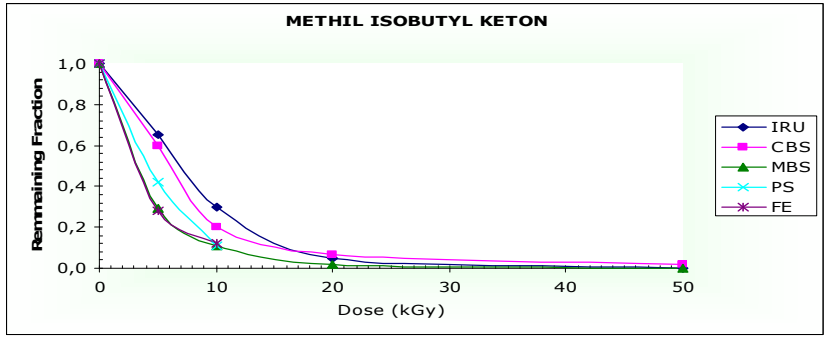
IPEN'S STUDIES FOR ORGANIC COMPOUNDS REMOVAL AFTER ELECTRON BEAM IRRADIATION OF SAMPLES FROM WWTP

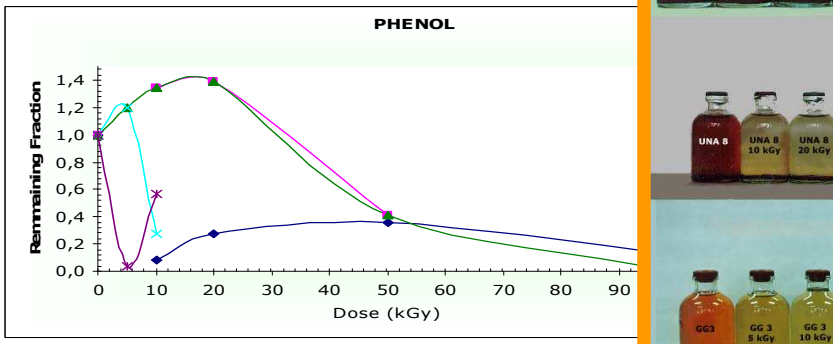








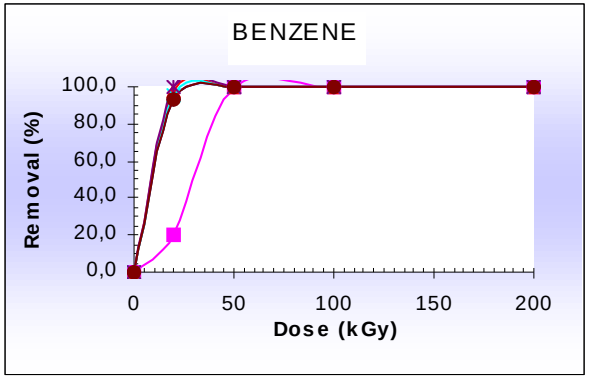


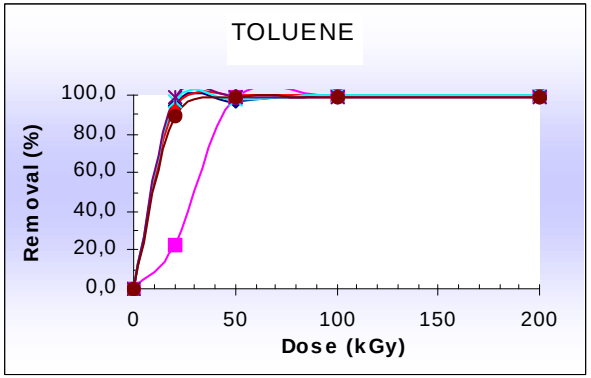


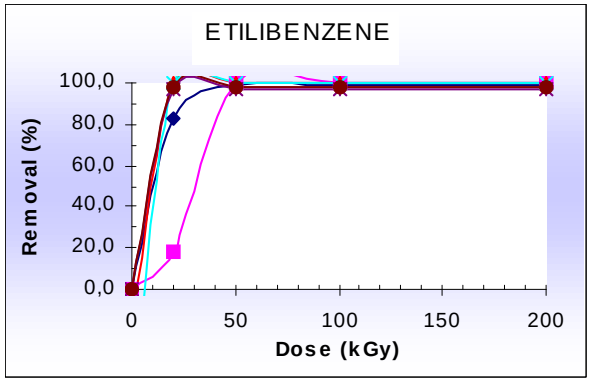
Source: IPEN-CNEN/SP

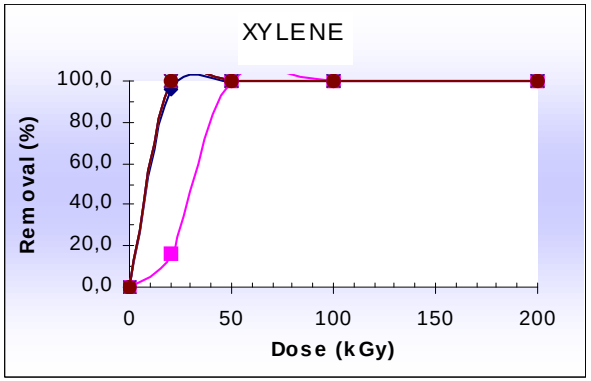
IPEN'S STUDIES FOR TREATMENT OF EFFLUENT FROM PETROLEUM PRODUCTION UNITS

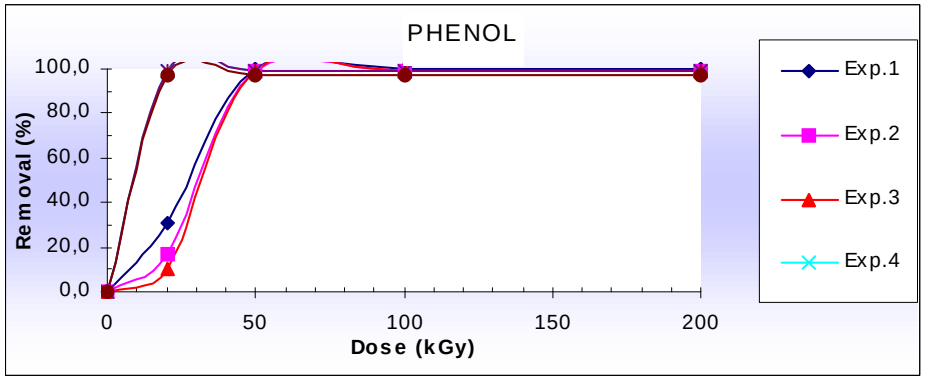
Removal of Organic Compounds (EB)







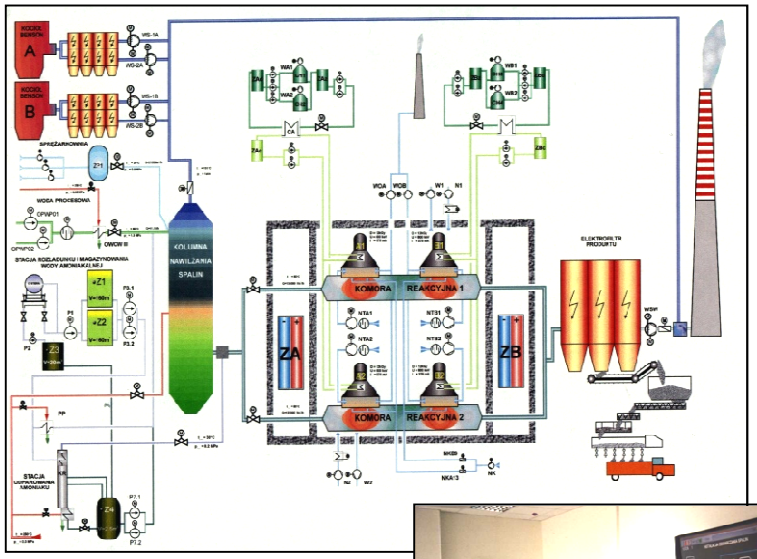


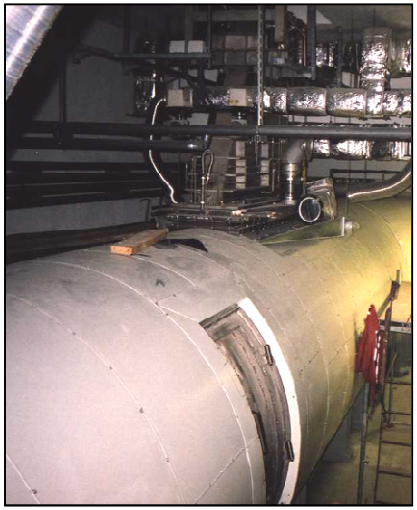


Source: IPEN-CNEN/SP

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

TRATAMENTO DE GASES DE COMBUSTÃO





⇒ SO_2 remoção > 90%

⇒ NO_X remoção > 70%

⇒ Subproduto: $(NH_4)_2SO_4$ NH_4NO_3

Source: INCT

Source: EB-Tech

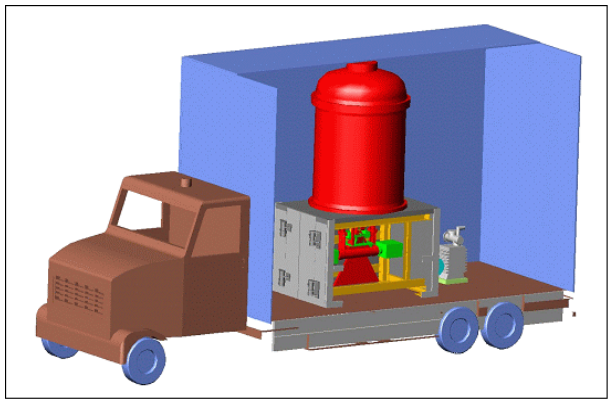
APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

Lab. Scale Experiments (1~50m³/day)

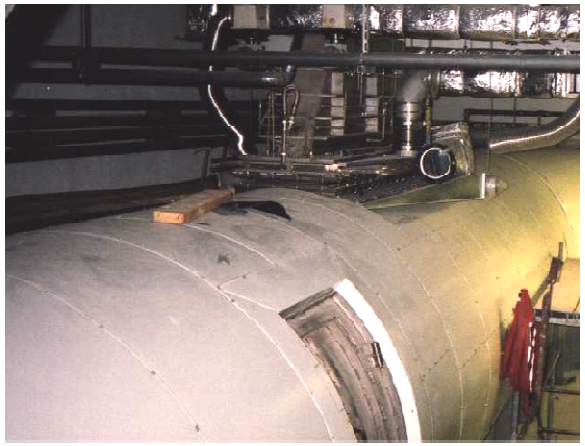
Lab. Scale Experiments (1~10,000Nm³/h)

Pilot scale Experiments (500~1,000m³/day)

- Cost
- Space
- O & M, other

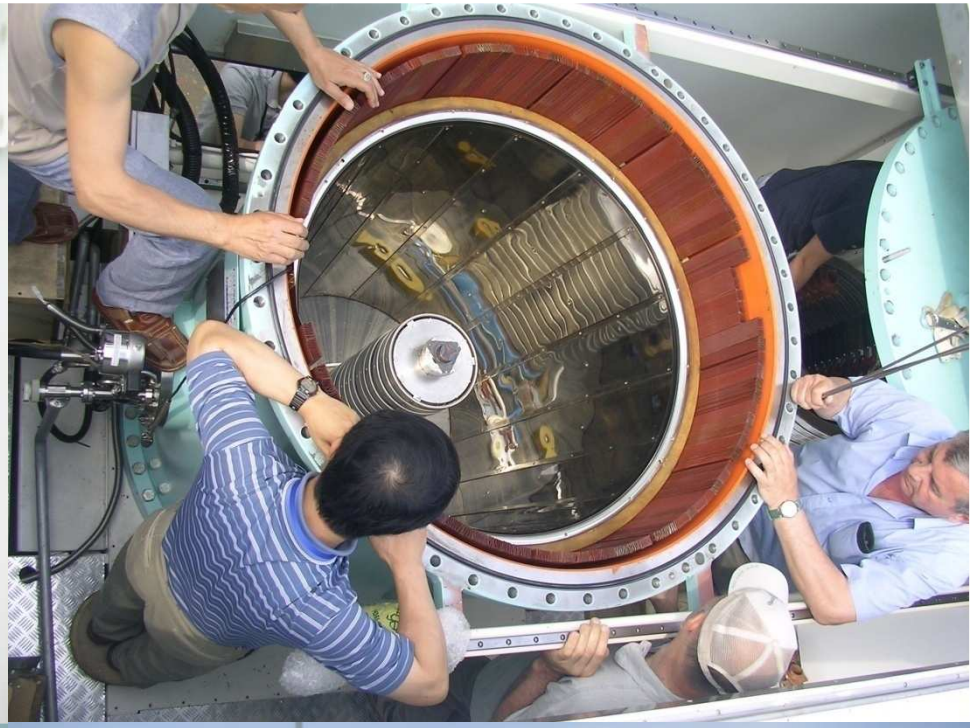


Industrial scale Wastewater Plant (10,000m³/day)



Industrial scale EBFGT Plant (~600,000Nm³/h)

Source: EB-Tech



Source: EB-Tech

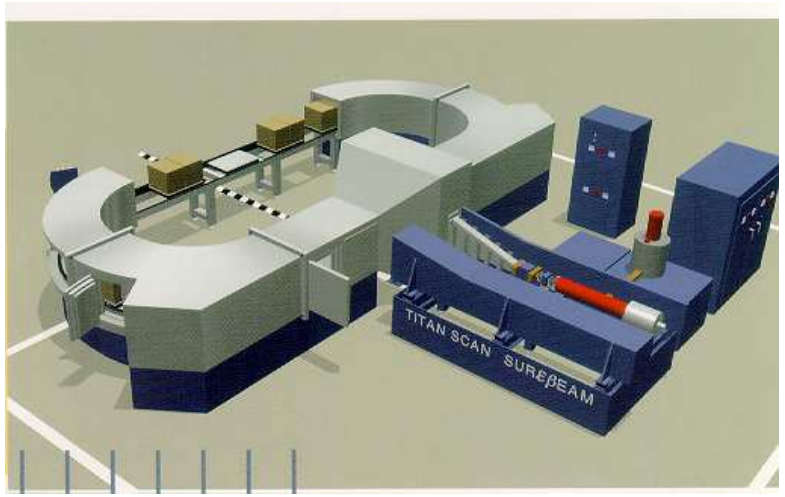
Electron Beam Accelerators

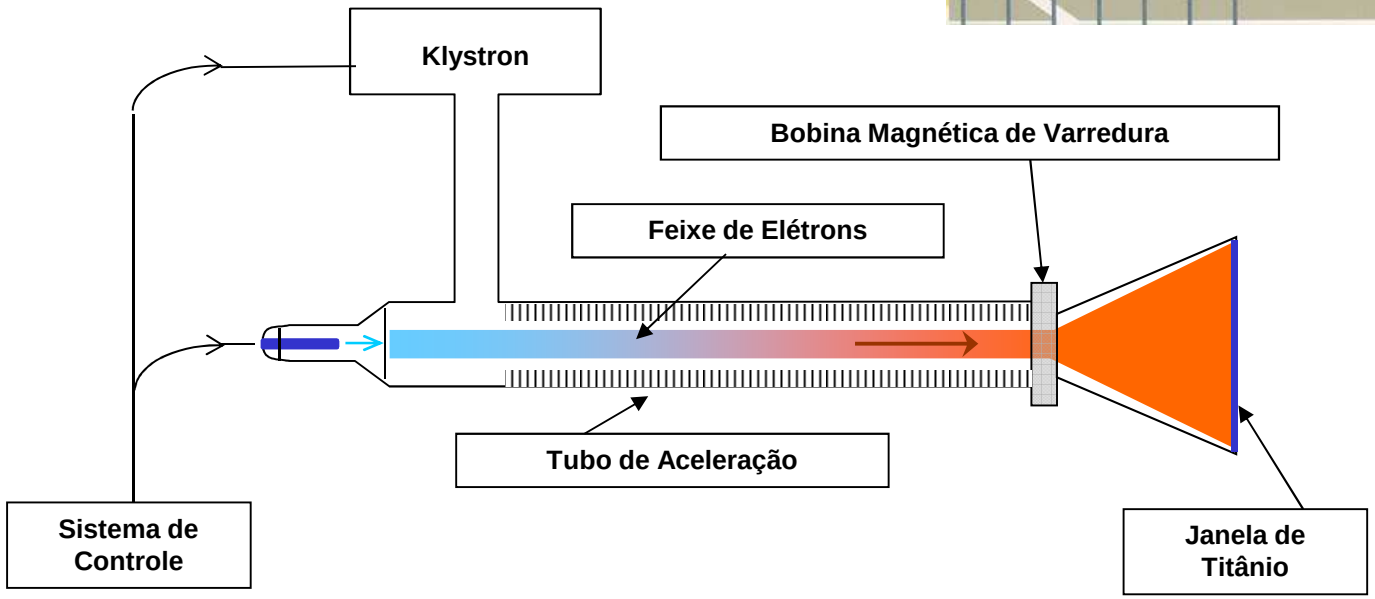
High-Energy: 5 MeV – 10 MeV

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

Aceleradores de Elétrons Lineares (10MeV)

Varian, Titan





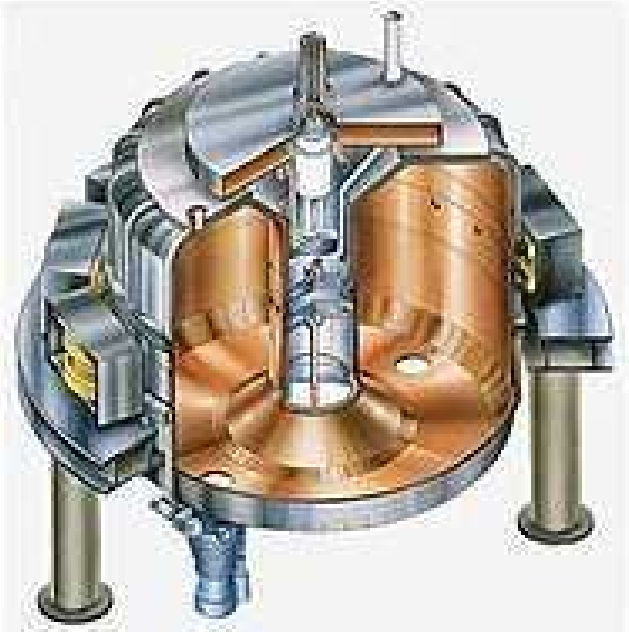
APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

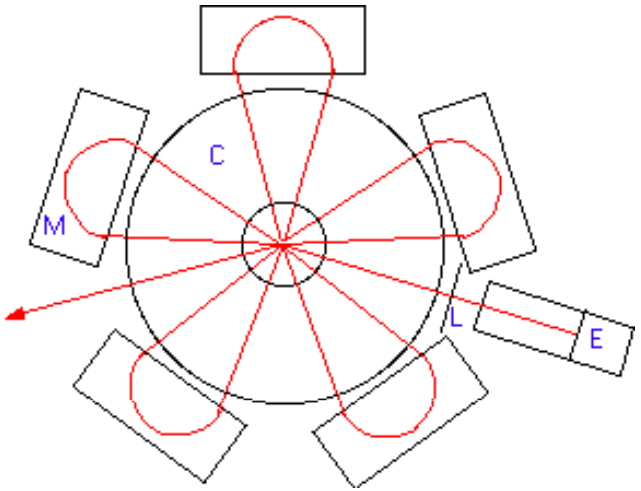
ACELÉTRON IRRADIAÇÃO INDUSTRIAL

18 kW (10 MeV)

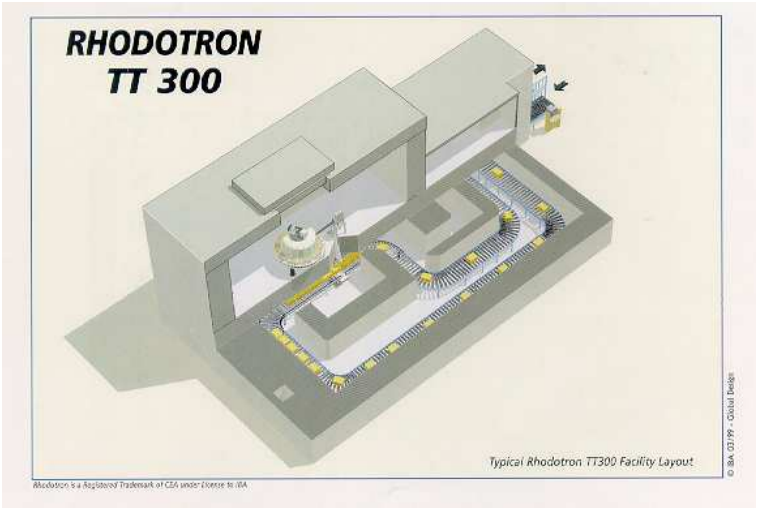
***Source*: ACELÉTRON**

Aceleradores de Elétrons Tipo Rhodotron (10MeV)





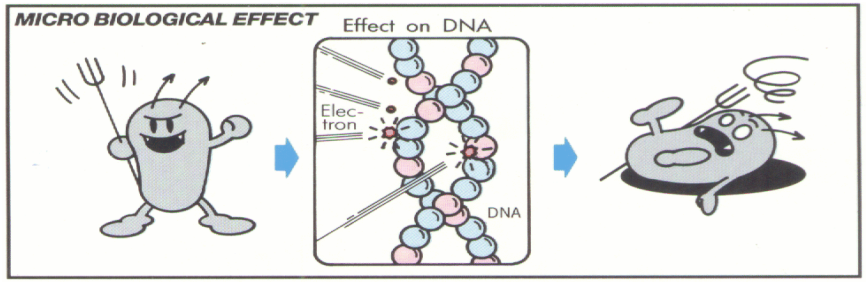
Ion Beam Application - IBA



APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

STERILIZATION OF MEDICAL, PHARMACEUTICAL AND BIOLOGICAL PRODUCTS

BRAZIL: ~50% (increase 10% / year)
World: ~60% (190 gamma irradiators)



NECESSARY CONTROLS	STERILIZATION PROCESSES				
	Gases	Liquids	Vapor	Filtration	Radiation
Time	X	X	X	X	X
Temperature	X	X	X		
Package	X	X	X		
Pressure	X		X	X	
Humidity	X		X		
Concentration	X	X			
pH		X			

Source: IPEN-CNEN/SP

RADIATION PROCESSING IN FUEL ALCOHOL PRODUCTION

BRAZIL:

Reduce the bioburden (*mosto*):

- Fuel alcohol production increase 3% (1,5kGy)
- Reduce the consumption of antibiotic

Sources: Usina Açucareira Guaíra and IPEN-CNEN/SP

DECONTAMINATION OF PESTICIDE PACKING USING IONIZING RADIATION

STUDIED PESTICIDE:
Chlorpyrifos, o,o-Diethyl-o-(3,5,6-trichloro-2-pyridyl) phosphorothioate

Electrons

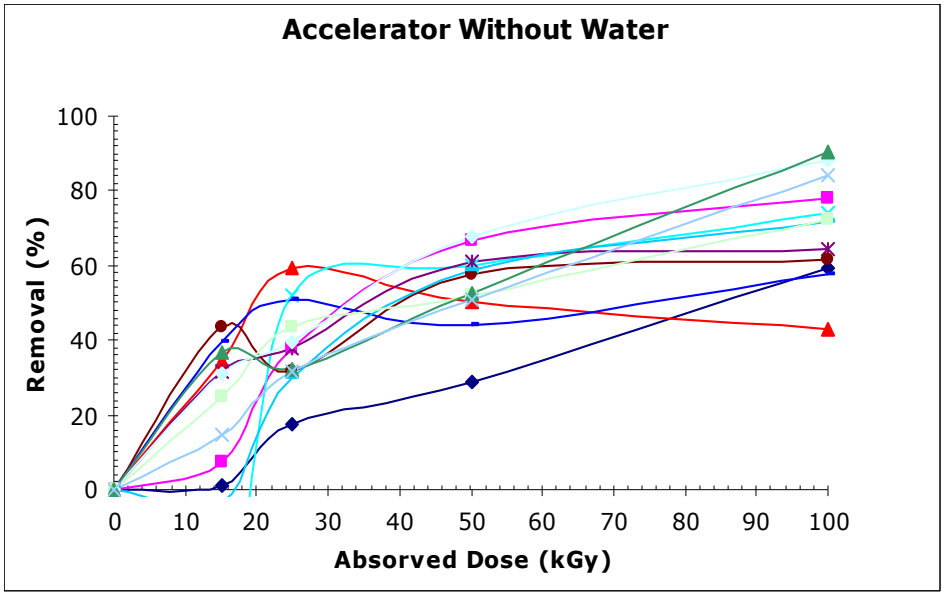
⇒ 288,000 tons of pesticides/year
⇒ 107,000,000 packing
⇒ 23,000 tons of solid waste

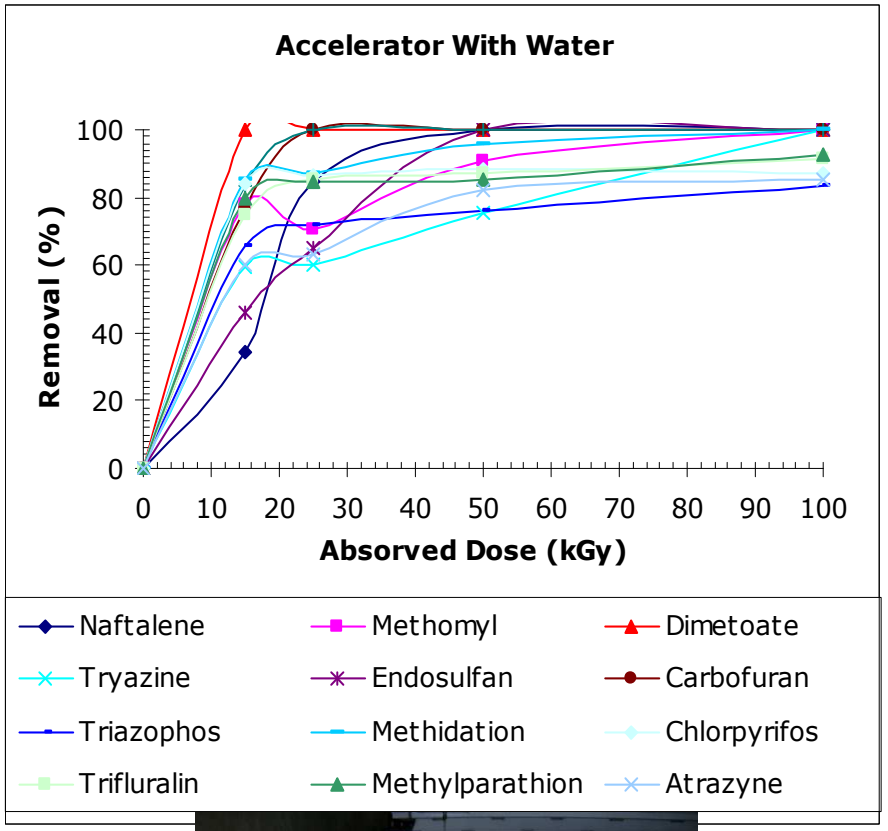
Plastic bottles

Corrugated ducts

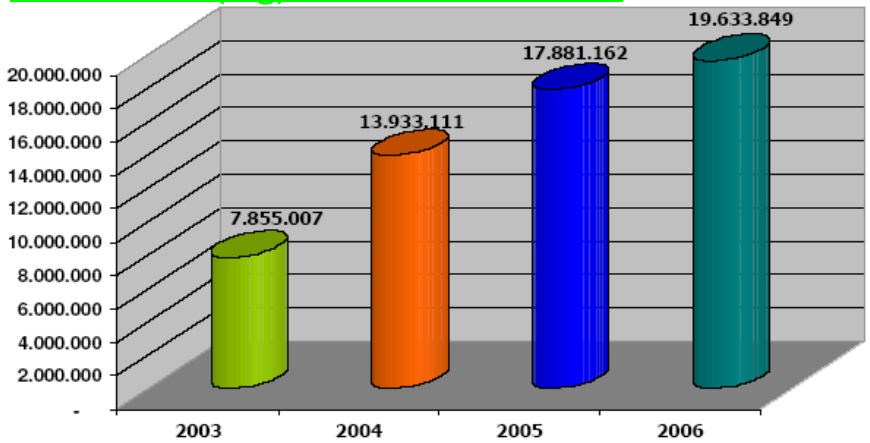
Source: IPEN-CNEN/SP

REMOVAL OF PESTICIDES IN PACKAGE WITH AND WITHOUT WATER USING ELECTRON BEAM ACCELERATOR





Retirement (Kg) evolution in Brazil



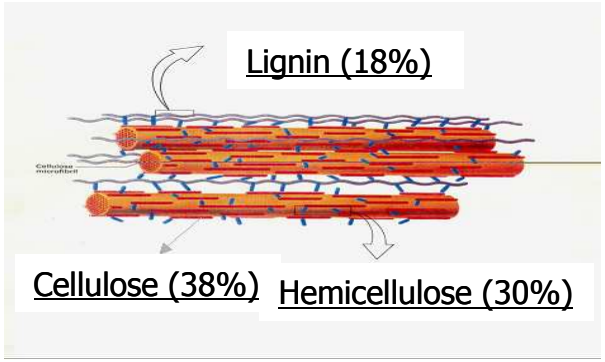
recycling (~60%) incineration (40%)

Search for new technologies to substitute the incineration

Source: IPEN-CNEN/SP

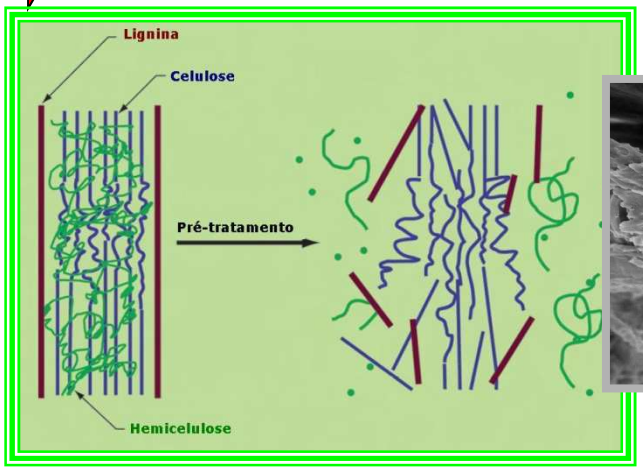
SUGARCANE BAGASSE IRRADIATION AS PRETREATMENT TO PRODUCE ETHANOL BIOFUEL

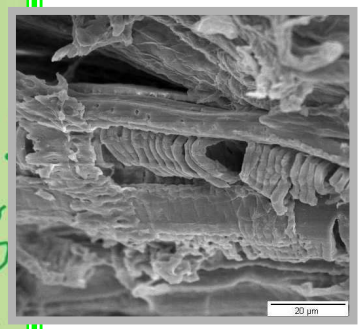
- Normally physical and chemical process
- Reduce the crystallinity
- Disrupt the hydrogen bonding of cellulose
- More accessibility to hydrolytic depolymerization reactions



Electrons

Pretreatment





hydrolysis process

Free sugars

Fermentation

Ethanol biofuel

Source: IPEN-CNEN/SP

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

Megatech Controls Ltda
Rua Ernesto Monteiro, nº. 2909 - Água Fria - Fortaleza / CE - CEP 60833-710
Tel: +55 (85) 3472 - 7170
Fax: +55 (85) 3472 - 7043
Email: megatech@megacontrols.com.br

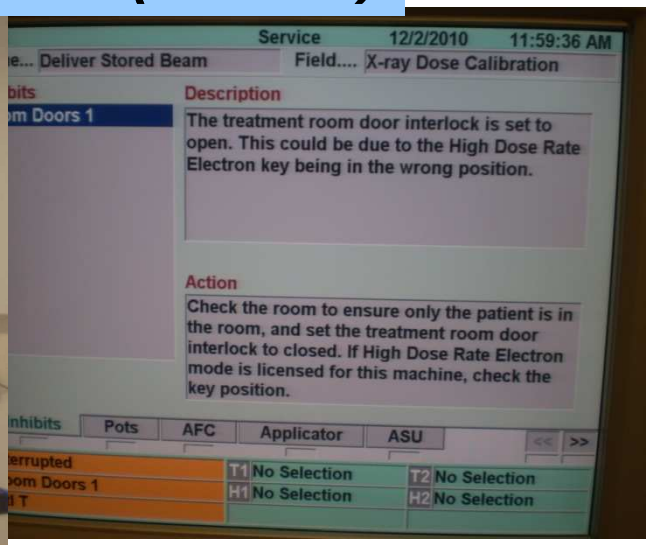
SISTEMA DE INSPEÇÃO POR RAIOS X

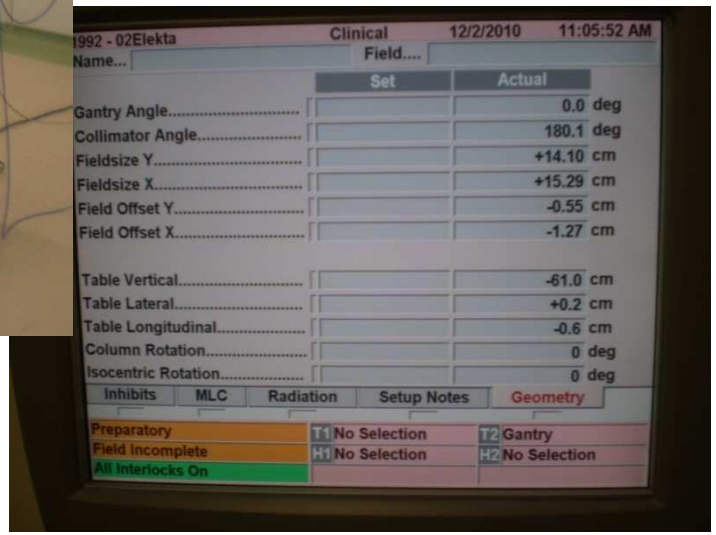
Configuração Móvel

Configuração Fixa

APLICAÇÕES DE FONTES INTENSAS DE RADIAÇÃO

ACELERADORES LINEARES DE ELÉTRON (ELEKTA)





- ✓ **2 energias de fótons (6 e 10MV) e 7 energias de elétrons (4, 6, 8, 10, 12, 15 e 18MeV)**
- ✓ **Lâminas de tungstênio para conformação dos campos de tratamento**
- ✓ **Radioterapia de Intensidade Modulada (IMRT)**
- ✓ **Mesa em fibra de carbono**
- ✓ **Sistema de posicionamento ExacTrac**
- ✓ **Sistema eletrônico de verificação de imagens iView GT**
- ✓ **Sistema de Gerenciamento Mosaiq**

Source: ICESP

ENUMAS 2012 – III Workshop Internacional

MUITO OBRIGADO

wapcalvo@ipen.br

24/08/2012