Radiologia Industrial

Prof. Luciano Santa Rita

www.lucianosantarita.pro.br
tecnologo@lucianosantarita.pro.br

Conteúdo Programático

- Introdução a radiologia Industrial
- Certificação profissional
- Campos de aplicação
- Acidentes radiológicos na área de indústria
- Transporte de material radioativo

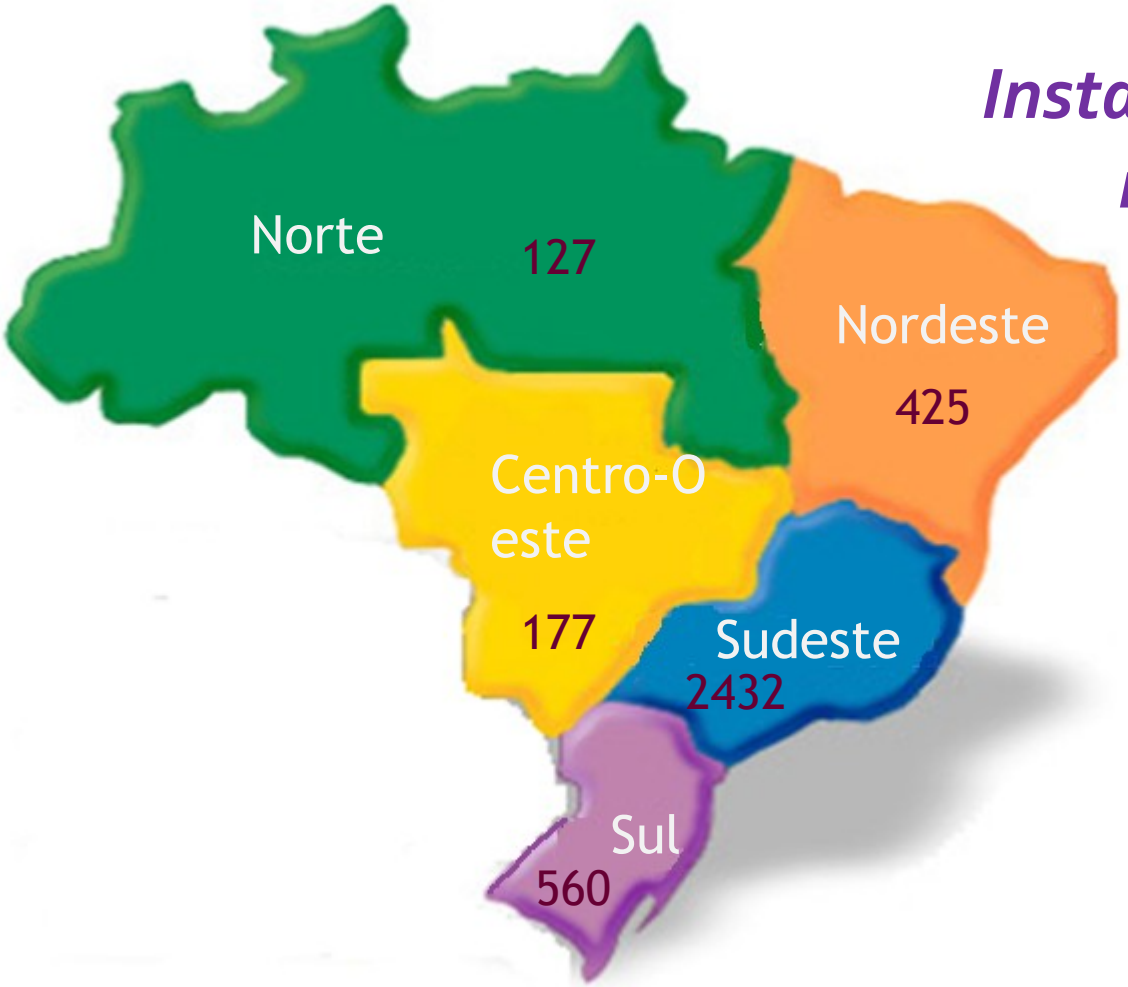
Bibliografia

- SEGURANÇA NUCLEAR E PROTEÇÃO DO MEIO AMBIENTE – Paulo Fernando Lavalle Heilbron Filho et al.
- CIÊNCIA RADIOLÓGICA PARA TECNÓLOGOS: FÍSICA, BIOLOGIA E PROTEÇÃO – Stewart Carlyle Bushong.
- FUNDAMENTOS DE ENERGIA NUCLEAR – Jucimar Peruzzo
- FÍSICA E DOSIMETRIA DAS RADIAÇÕES – Thomaz Bitelli.
- Radioproteção e dosimetria: Fundamentos – Luiz Tauhata et al.
- Normas CNEN NN-3.01, NE-3.02, NE-5.01, NE-6.02 e NN-6.04.

Introdução a radiologia industrial

- A radiologia industrial representa uma diversidade de técnicas que possibilita detectar com alta sensibilidade descontinuidades em diversas estruturas , a irradiação de materiais, o controle de processos, a avaliação da viabilidade de poços de petróleo, a caracterização radiológica das matrizes orgânicas e inorgânicas do meio ambiente, o transporte de material radioativo, reatores nucleares e a segurança radiológica da sociedade.

Introdução a radiologia industrial



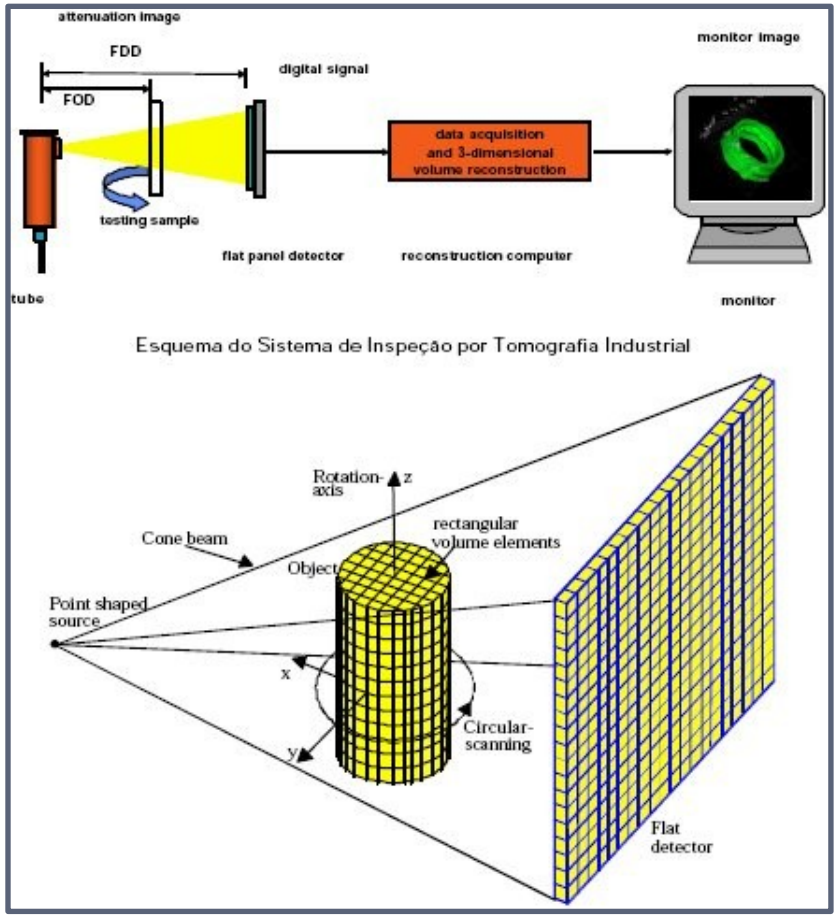
Instalações radioativas no Brasil 2009

Total = 3721

Introdução a radiologia industrial

- Radiografia industrial

Ensaio Radiográfico da Turbina de um avião



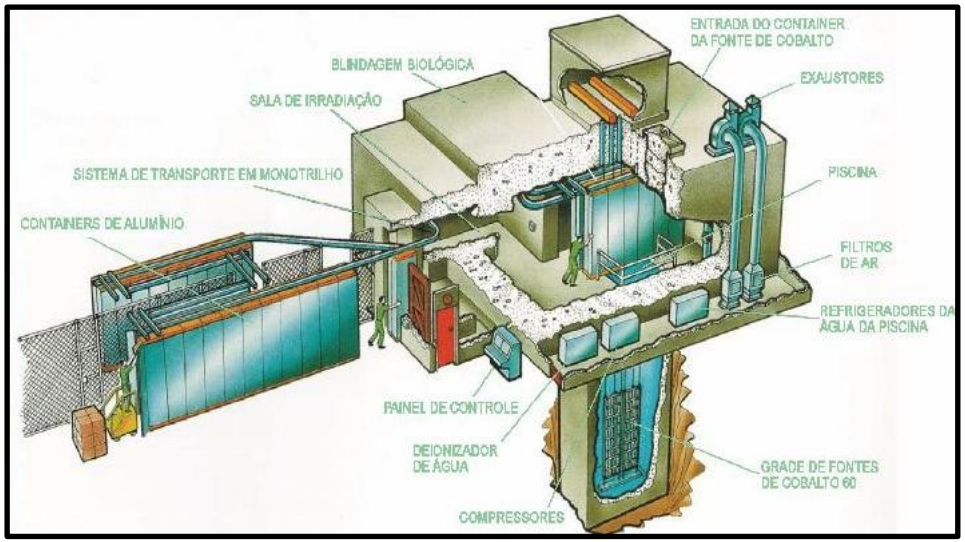
Esquema do Sistema de Inspeção por Tomografia Industrial

Introdução a radiologia industrial

- Gamagrafia industrial

Introdução a radiologia industrial

- Irradiador de grande porte e Aceleradores lineares

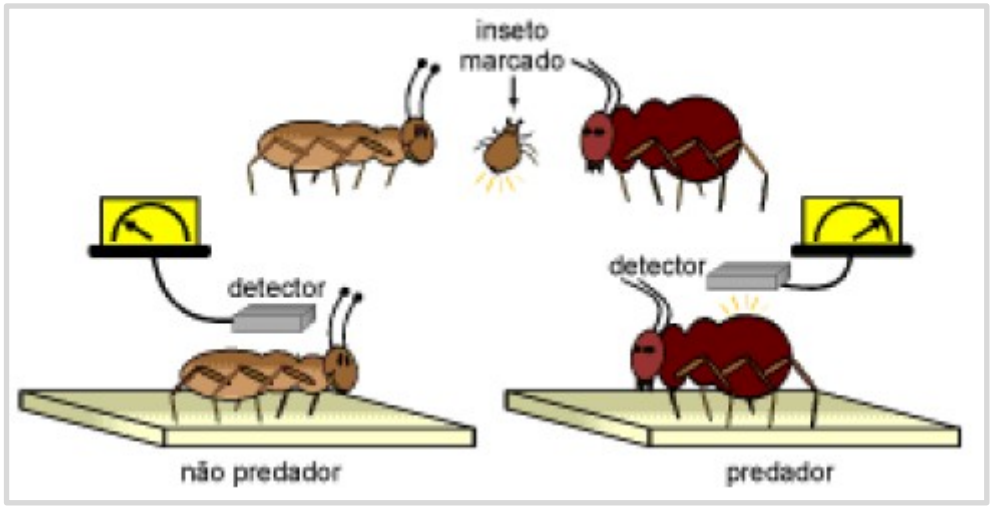


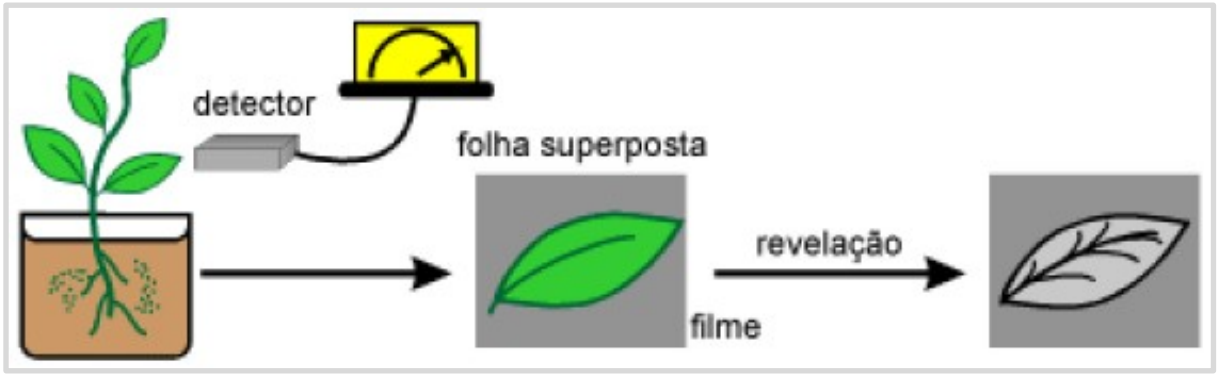
Introdução a radiologia industrial

- Controle de processos – Medidores nucleares

Introdução a radiologia industrial

- Radiotraçadores





Introdução a radiologia industrial

- Caracterização radiológica das matrizes orgânicas e inorgânicas do meio ambiente

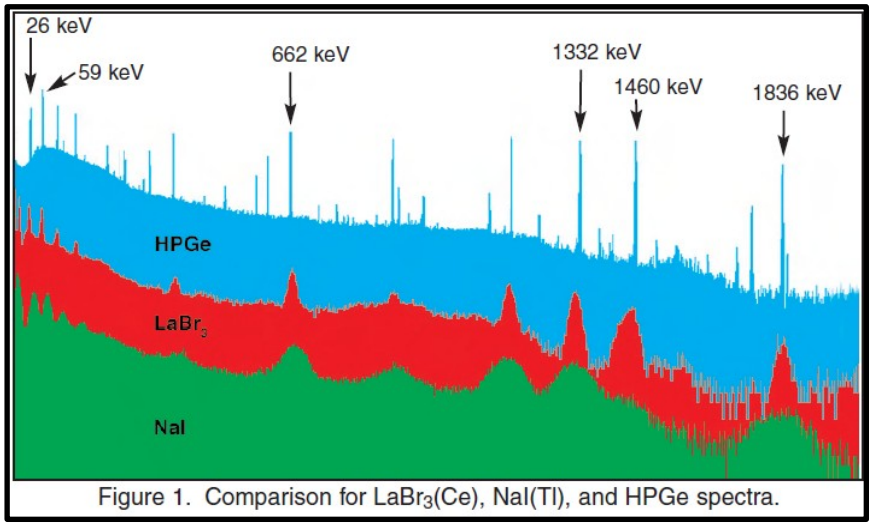
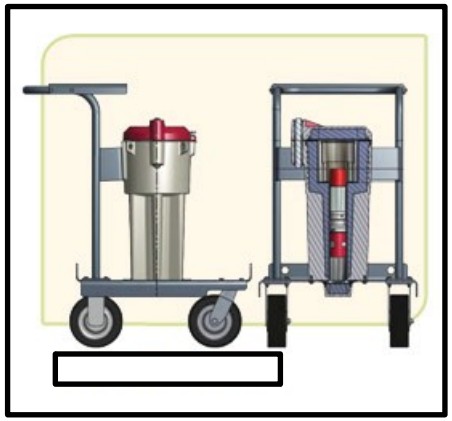
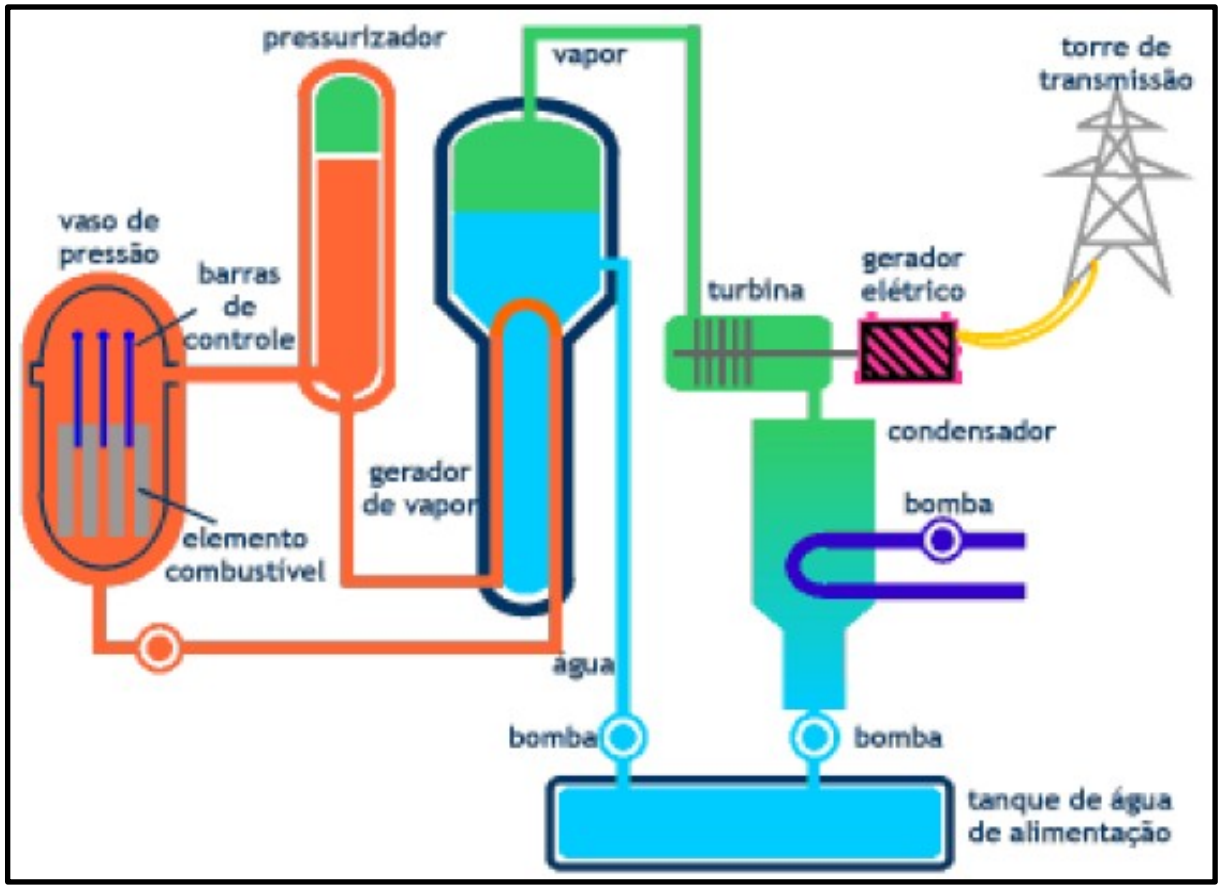


Figure 1. Comparison for $LaBr_3(Ce)$, NaI(Tl), and HPGe spectra.



Introdução a radiologia industrial

- Reatores Nucleares

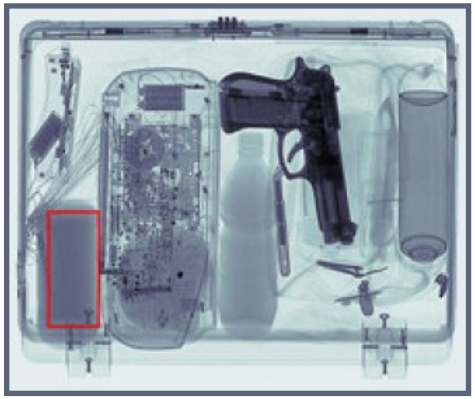


Introdução a radiologia industrial

- Transporte de material radioativo e Segurança radiológica

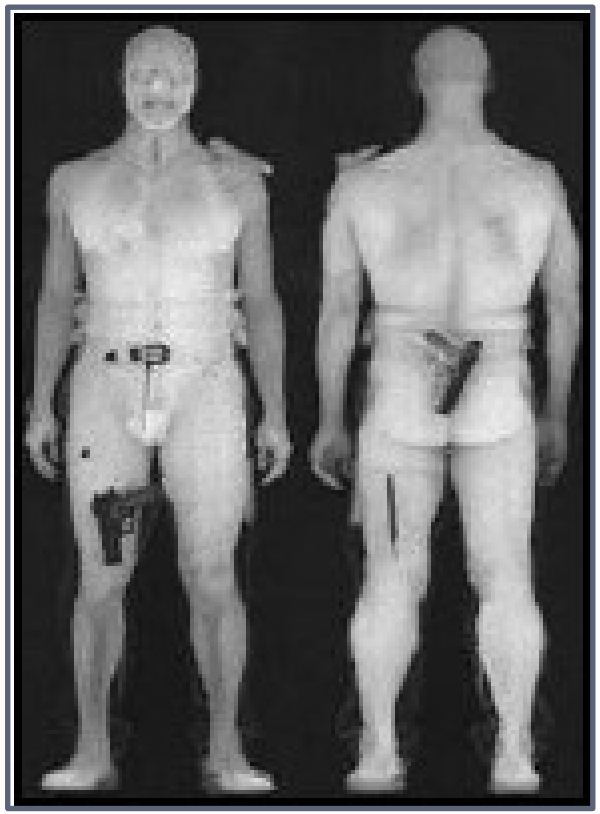
Introdução a radiologia industrial

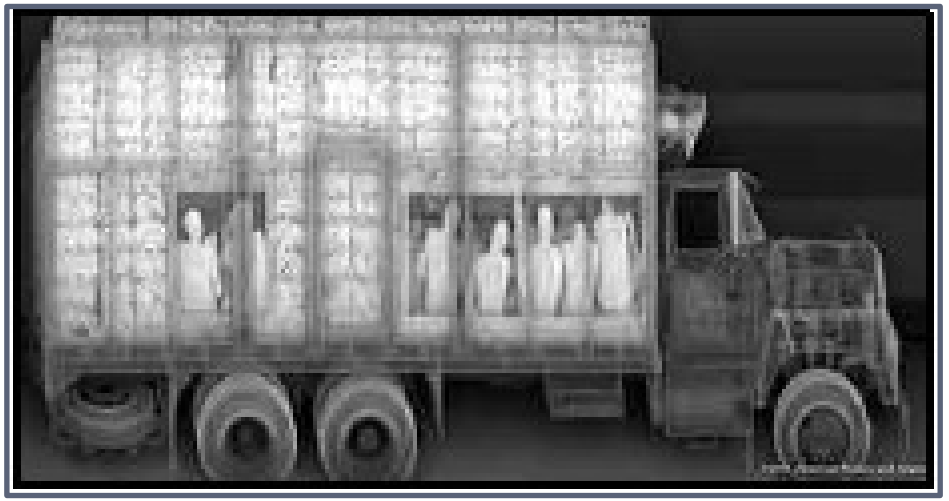
- Segurança radiológica em aeroportos e portos



Introdução a radiologia industrial

- Segurança radiológica em fronteiras





Certificação Profissional

- Na área de radiologia industrial
  - ABENDI – Associação Brasileira de Ensaios Não destrutivos e Inspeção;
    - É uma entidade técnico-científica, sem fins lucrativos, de direito privado, fundada em março de 1979, com a finalidade de difundir as técnicas de END e Inspeção.
  - CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear
    - É o órgão superior de planejamento, orientação, supervisão e fiscalização, estabelece normas e regulamentos em radioproteção e licencia, fiscaliza e controla a atividade nuclear no Brasil.

Certificação Profissional

- Segundo a CNEN, na área de radiografia industrial
  - A empresa deve apresentar a relação do pessoal técnico do Serviço, constituída do seguinte modo:
    - (dois) supervisores de radioproteção , ou mais de 2 (dois) nos casos julgados necessários pela CNEN;
    - para cada instalação, 2 (dois) operadores de radiografia, um deles, pelo menos, sendo operador qualificado segundo a norma NN-6.04, podendo o segundo ser, apenas, operador estagiário, maior de 18 anos; e
    - no caso específico de instalação aberta também, pelo menos, 1 (um) responsável pela instalação aberta.

Certificação Profissional

- Segundo a CNEN, na área de radiografia industrial
  - Qualificação do Supervisor de Radioproteção do Serviço deve atender aos seguintes requisitos:
    - Possuir diploma universitário de áreas a fins;
    - ter sido aprovado, com nota final igual ou superior a 7 (sete), em um curso específico para supervisores de radioproteção na área de radiografia industrial, carga horária e programa mínimo aprovados pela CNEN; e
    - estar de posse da certificação da qualificação de supervisor de radioproteção, específica para a área de radiografia industrial, concedida pela CNEN.

Certificação Profissional

- Segundo a CNEN, na área de radiografia industrial
  - Qualificação do Responsável pela Instalação Aberta (RIA) deve atender aos seguintes requisitos:
    - Possuir 2º grau completo de escolaridade;
    - ter concluído, com aproveitamento, um curso especializado de radioproteção reconhecido pela CNEN, com carga horária mínima de 80 (oitenta) horas; e
    - possuir certificação da qualificação concedida pela CNEN mediante requerimento próprio.

Certificação Profissional

- Segundo a CNEN, na área de radiografia industrial
  - Qualificação do Operador de radiografia deve atender aos seguintes requisitos:
    - Possuir 1º grau completo de escolaridade;
    - ter concluído, com aproveitamento, um curso especializado de radioproteção reconhecido pela CNEN, com carga horária mínima de 80 (oitenta) horas; e
    - possuir certificação da qualificação concedida pela CNEN mediante requerimento próprio.

Certificação Profissional

- Segundo a CNEN, na área de medidores nucleares
  - A empresa deve apresentar a relação do pessoal técnico do Serviço, constituída do seguinte modo:
    - Um supervisor de radioproteção e um substituto, que não precisa ser habilitado pela CNEN, mas precisa comprovar treinamento em radioproteção (mínimo 40 h).
    - Havendo a necessidade de mais Indivíduos Ocupacionalmente expostos (IOE) os mesmos devem comprovar treinamento em radioproteção (mínimo 40 h).

Certificação Profissional

- Segundo a ABENDI, na área de Ensaio Não Destrutivo (END)
  - Os profissionais são classificados em três níveis crescentes de qualificação e certificação, designados pelos algarismos arábicos 1, 2 e 3.
    - ***Nível 1***: *não* deve ter a responsabilidade de escolher o método de END ou a técnica de ensaio a ser usada.
    - ***Nível 2***: *não* deve ter a responsabilidade de escolher o método de END, mas define a técnica de ensaio a ser usada.
    - ***Nível 3***: define o método de END e a técnica de ensaio a ser usada. Supervisiona a s obrigações do nível 1 e 2.

Campos de aplicação

- Imagens radiográficas industriais
  - Gamagrafia
  - Radiografia convencional e digital
  - Tomografia e radioscopia
  - Escâneres industriais
  - Neutrongrafia
- Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo
- Irradiador de grande porte e aceleradores industriais
- Reatores nucleares

Imagens radiográficas industriais

- Desempenham um papel importante na comprovação da qualidade da peça, componente ou estruturas em conformidade com os requisitos das normas, especificações e códigos de fabricação.
- Principal elemento de apoio a realização de Ensaios Não Destrutivos (END) com uso de radiação ionizante.
- São usadas nos END com uso de radiação ionizante realizados em indústrias de petróleo e petroquímica, nuclear, alimentícia, farmacêutica, inspeção em soldas e fundidos, e ainda na indústria bélica para inspeção de explosivos, armamento e mísseis.

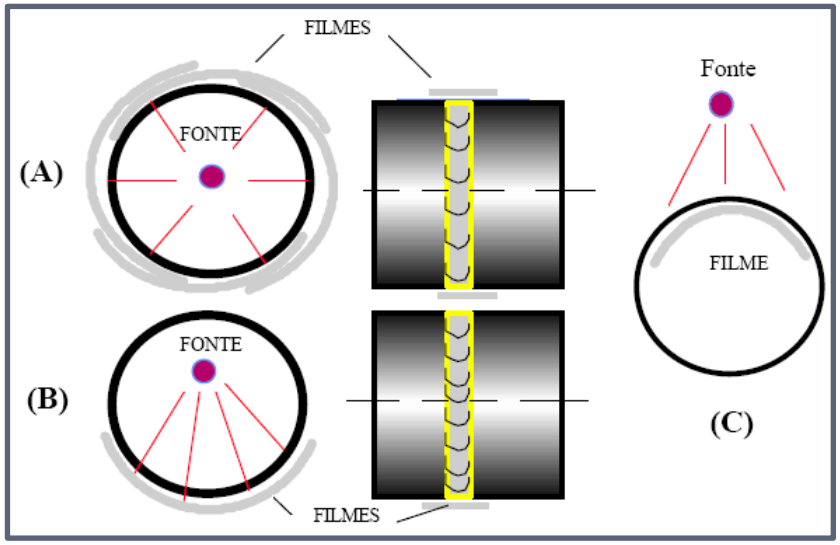
Gamagrafia

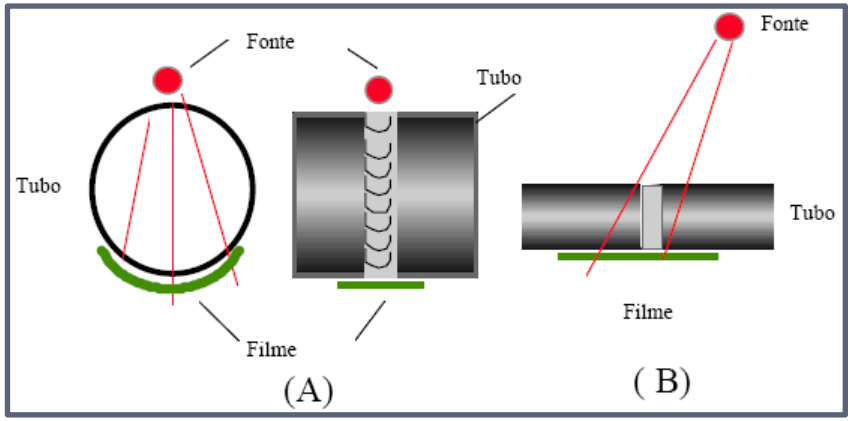
Fonte	Atividade (GBq)	Categoria	Uso (espessuras em aço - mm)
75Se	3000	2	4 a 30
192Ir	3700	2	10 a 40
60Co	2200	2	60 a 200

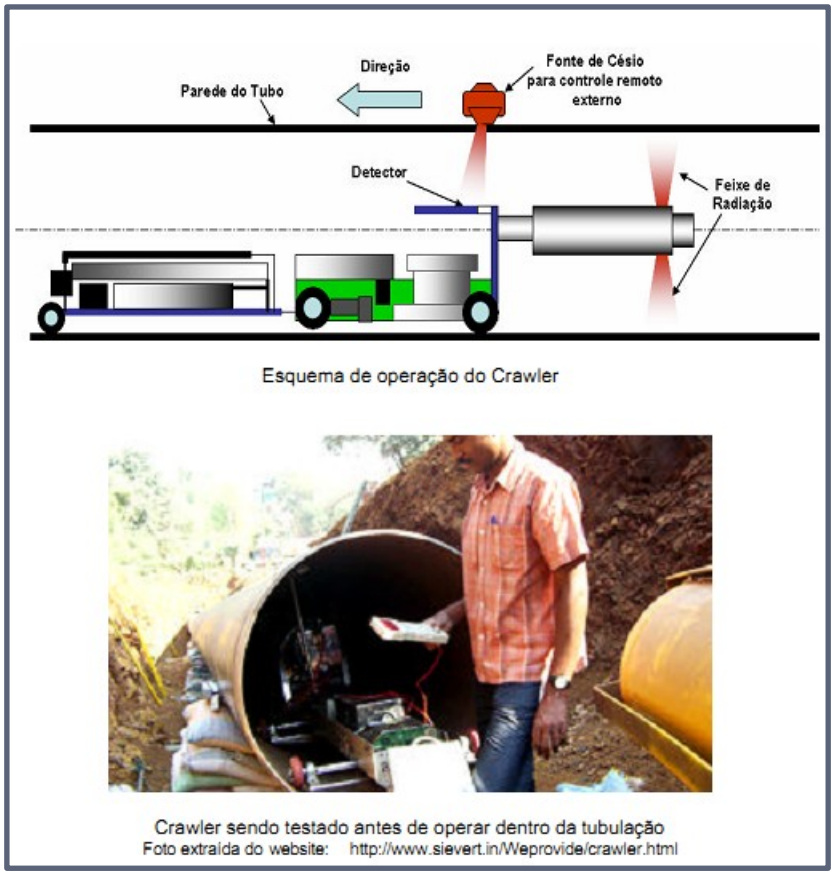
Gamagrafia

INSTALAÇÕES ABERTAS
DE GAMAGRAFIA INDUSTRIAL NO PAÍS
Roraima
Amapá
Amazonas
Pará
Maranhão
Ceará
Piauí
Rio Grande do Norte
Paraíba
Pernambuco
Alagoas
Sergipe
Bahia
Acre
Rondônia
Tocantins
Mato Grosso
Distrito Federal
Goiás
Minas Gerais
Mato Grosso do Sul
São Paulo
Paraná
Santa Catarina
Rio Grande do Sul
Espírito Santo
Rio de Janeiro
1 Qualitec
3 Qualitec
2 Metaltec Qualitec
1 Gamatron
2 Brasitest
10 Arctest Gamatron Unitec
1 Brasitest
34 Arctest Ultratest NDT SBCQ Synesis
81 Arctest Brasitest ETQ Isotest NDT Qualitec JLM Metaltec Unitec
2 Unitec NDT
8 Arctest Brasitest ETQ MKS NDT Qualitec
19 Arctest NDT MKS
10 Brasitest Engisa ETQ Isotest Tequaly
1 Metaltec
4 Arctest Brasitest Qualitec
Total: 179 Instalações Abertas (frentes móveis)
Fontes: RIAFs e RARAE

Gamagrafia







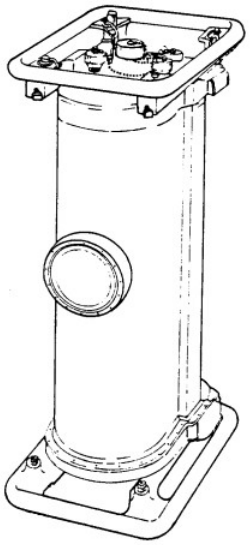
Esquema de operação do Crawler

Crawler sendo testado antes de operar dentro da tubulação
Foto extraída do website: http://www.sievert.in/Weprovide/crawler.html

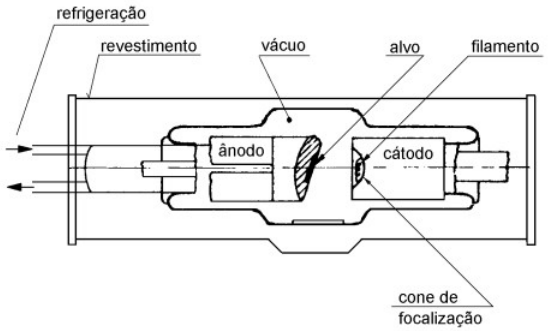
Radiografia convencional e digital

Técnico de uma companhia aérea preparando a inspeção radiográfica da turbina do avião, utilizando um aparelho de Raios X. A inspeção radiográfica das aeronaves em operação é uma ferramenta indispensável para controlar os componentes , e verificar se os mesmos permanecem na mesma condição de fabricação.

Veja agora os principais elementos **do tubo de raios X**.



aspecto externo do tubo



elementos principais do tubo de raios-X

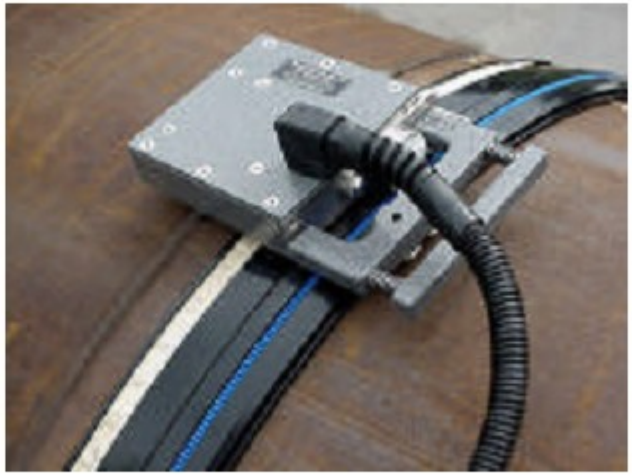
Radiografia convencional e digital

GUIA PARA SELEÇÃO DE FILMES DE ACORDO COM ASTM E94 - PARA AÇO					
ESPESSURA DO MATERIAL (mm)	VOLTAGEM APLICADA NO EQUIPAMENTO (kV)				
	50 a 80	80 a 120	120 a 150	150 a 250	250 a 400
0 a 6,3	3	3	3	1	
6,3 a 12,7	4	3	2	2	1
12,7 a 25,4		4	3	2	2
25,4 a 50,8				3	2
50,8 a 101,6				4	4
101,6 a 203,2					4

Equipamentos de radiação ionizante industrial, de até 300 kV

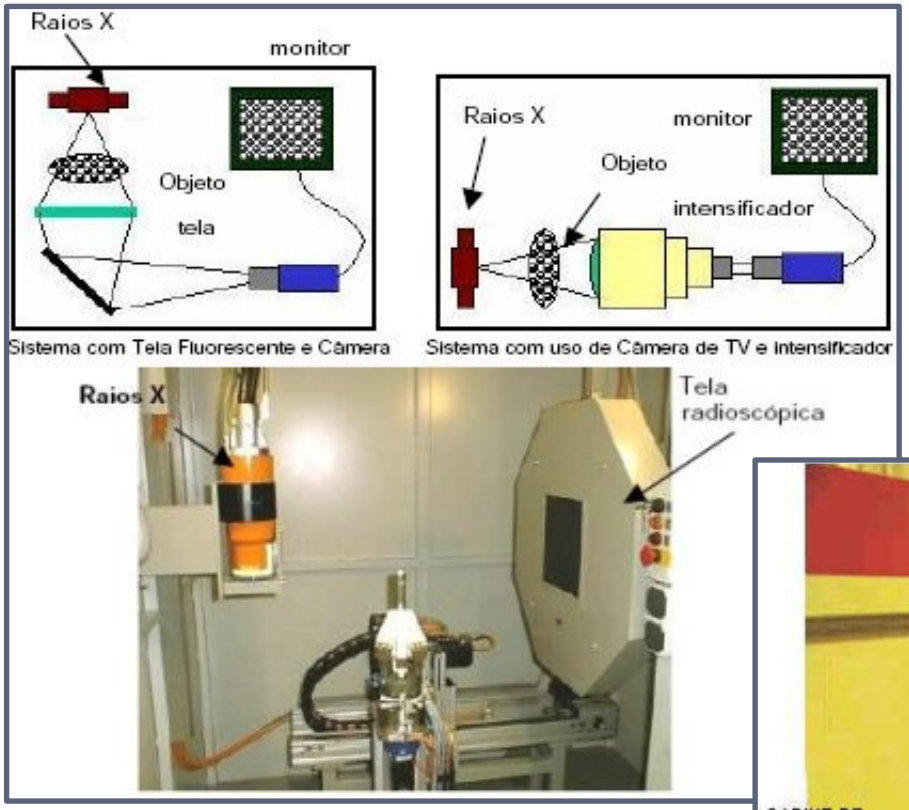
TIPO DE FILME	VELOCIDADE	CONTRASTE	GRANULAÇÃO
1	baixa	muito alto	extra fina
2	média	alto	fina
3	alta	médio	grosseira
4	muito alta	muito alto	várias

Radiografia convencional e digital

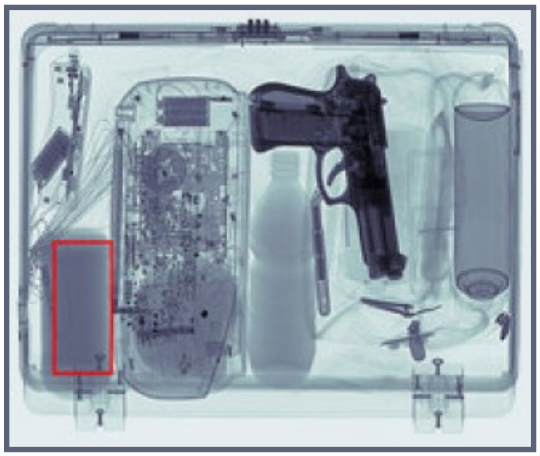


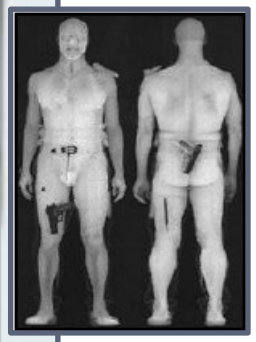
Técnica de radiografia digital em uma solda de tubulação. Na foto do meio, a placa digitalizadora da imagem, gira ao redor da solda, por um guia fixado no tubo.

Radioscopia (Fluoroscopia)

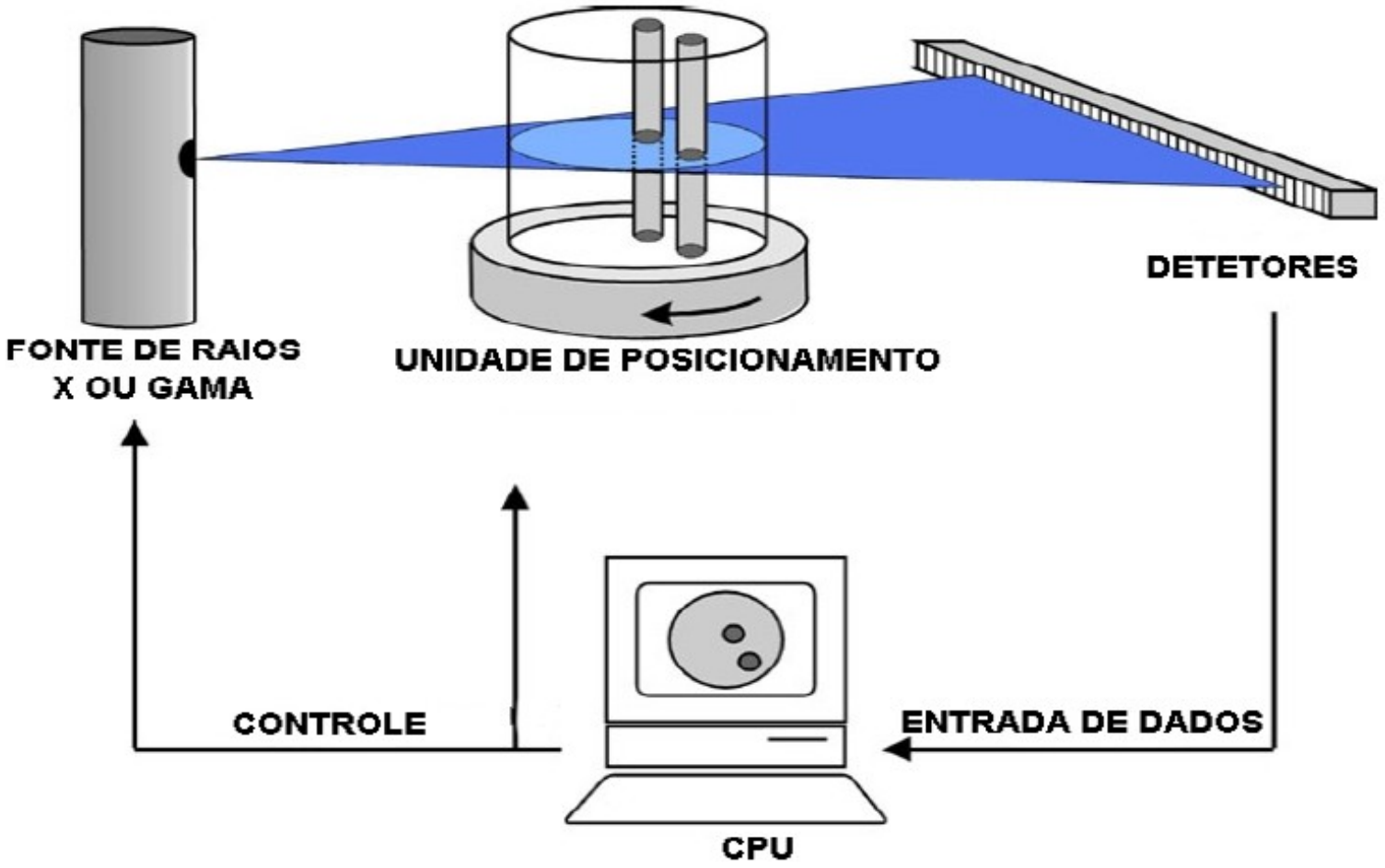


Radioscopia (Fluoroscopia)

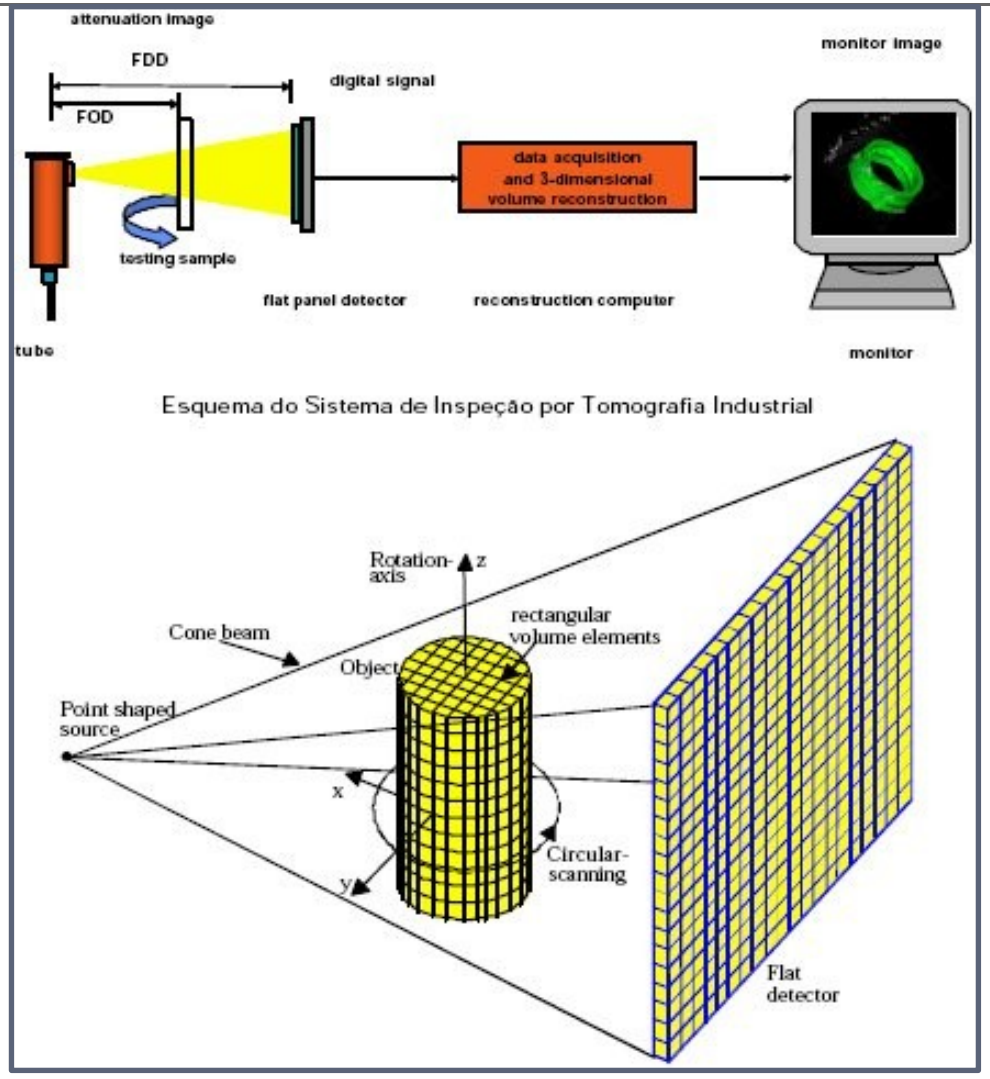




Tomografia (TC)



Tomografia (TC)



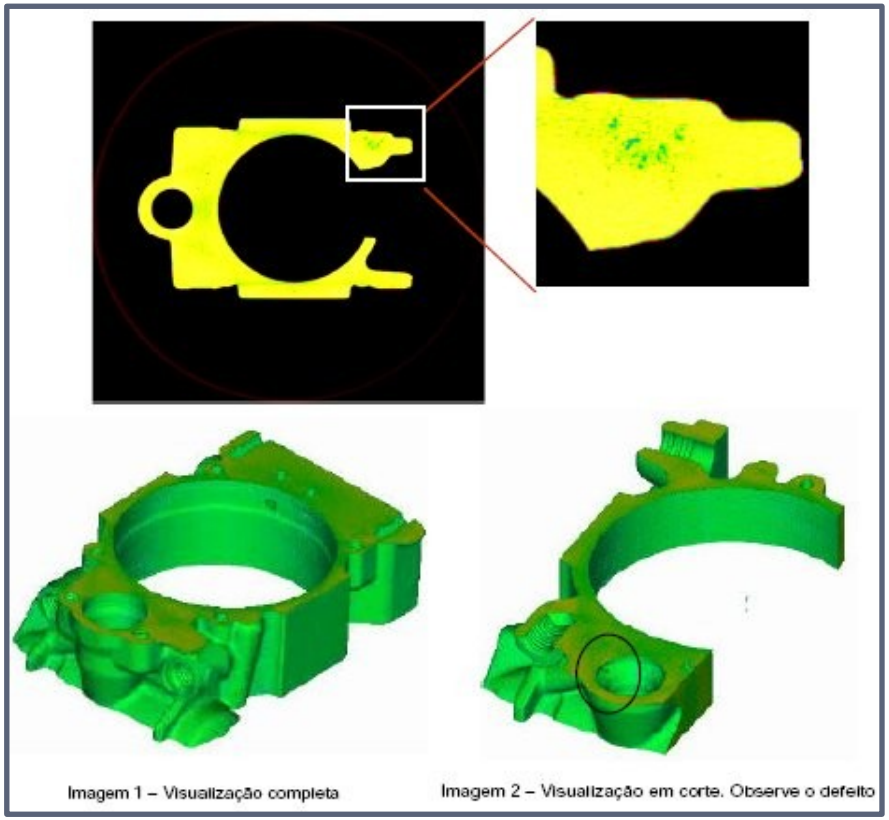
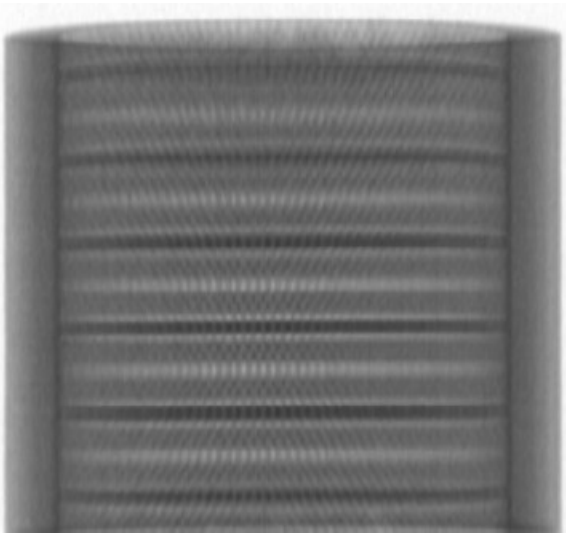


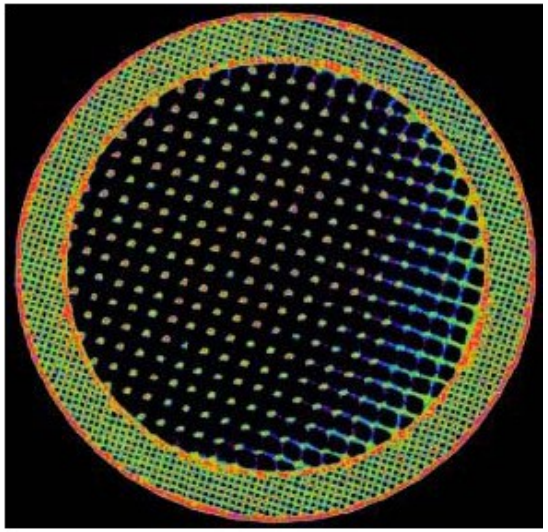
Imagem 1 – Visualização completa

Imagem 2 – Visualização em corte. Observe o defeito

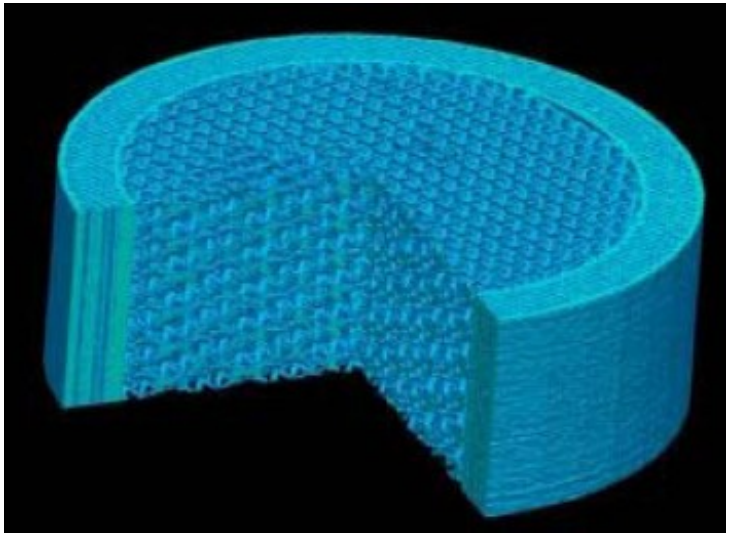
Tomografia (TC)



(1) Radiografia de um molde cerâmico.



(2) Corte tomográfico 2D do molde de cerâmica.



(3) Reconstrução 3 D do molde de cerâmica.

Escâneres Industriais

- O Rio de Janeiro desde 2007 tem abrigado a realização de grandes eventos sejam esportivos, políticos ou religiosos.
- Deste ano para cá já foram realizados em nossa cidade os Jogos Pan americanos (2007), os Jogos Mundiais Militares (2011), a Rio+20 (2012), Copa das Confederações e a Jornada Mundial da Juventude (2013) e este ano a Copa do Mundo (2014).
- Estamos acostumados com uso de detectores de metais, sejam fixos ou portáteis, nestes eventos. Mas tal qual ocorre em aeroportos e portos o uso de escâneres de bagagem ou corporais que fazem uso da emissão de raios X (radiação eletromagnética ionizante) só faz crescer.

Escâneres Industriais

- A partir do aumento de seu uso cabe algumas reflexões:
  - Como estes equipamentos funcionam?
  - Como são a segurança radiológica destes equipamentos?
  - Qual a capacitação exigida para os operadores?
  - Qual a capacitação dos responsáveis?
  - Eles podem provocar algum dano na população?

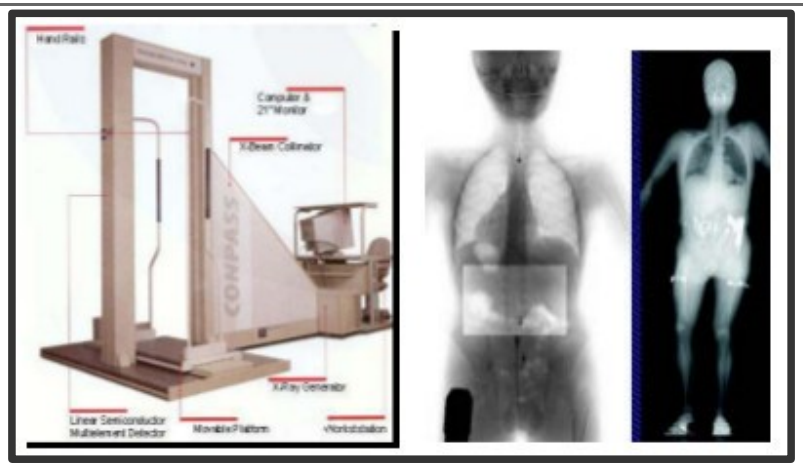
Escâneres Industriais

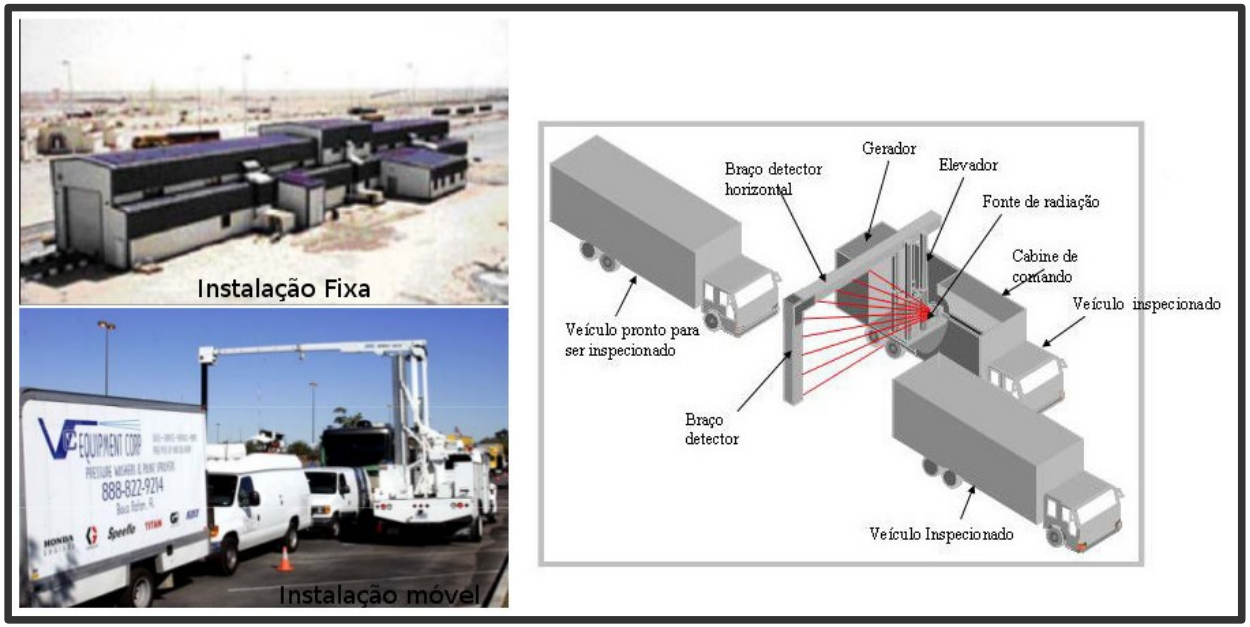
- Tecnologia – com radiação não ionizante e radiação ionizante, raios X. Os escâneres que utilizam emissão de feixe de raios X existem 3 tipos:
  - sistemas de retrodispersão, assim chamado porque trabalham com a radiação dispersa pelo corpo humano a 180 °;
  - sistemas de transmissão, que utilizam a radiação que passou através do corpo humano, e
  - um terceiro tipo, que é uma combinação dos outros dois.

Escâneres Industriais

- Os escâneres de radiação não ionizante e os de raios X de retrodispersão permitem apenas visualizar objetos sob a roupa, enquanto que os escâneres de raios X de transmissão permitem que você veja no interior do corpo humano como ocorre com os equipamentos de raios X médicos.
- Se a pessoa tem uma arma sob o casaco, os equipamentos de raios X de retroespalhamento ou o de ondas milimétricas irá detectá-lo, mas se você tiver engolido um saco cheio de explosivos que espera detonar durante o voo em um ato de autoimolação, não. Para detectar esses tipos de objetos é necessário usar um equipamento de raios X de transmissão.

Escâneres Industriais



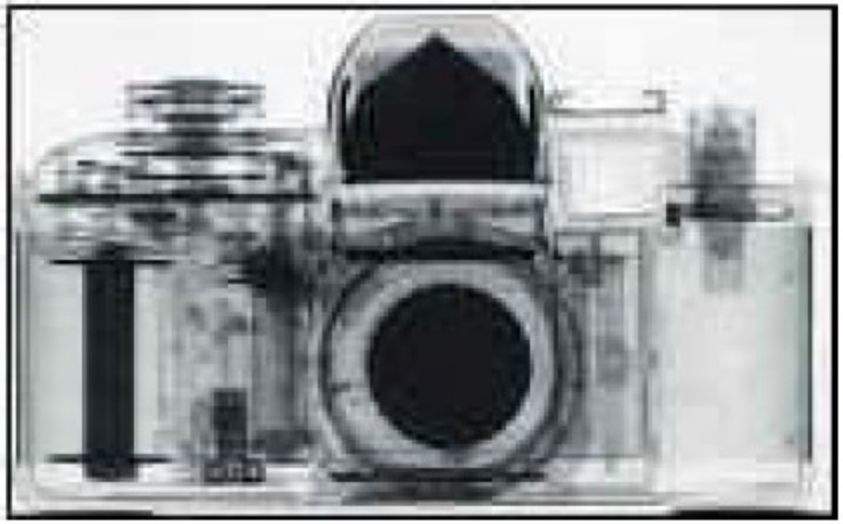


Neutrongrafia

- A neutrongrafia, semelhantemente a outras técnicas radiográficas, consiste em um feixe de radiação (nêutrons, neste caso) que atravessa um dado objeto e sensibiliza um sistema de registro de imagem.
- A forma como nêutrons interagem com a matéria, no entanto, difere totalmente de como fótons X ou gama interagem.
- Enquanto fótons interagem com os elétrons orbitais dos átomos, nêutrons o fazem com os núcleos.
- Como resultado, a radiografia com nêutrons permite revelar materiais mais leves que não atenuam raios X ou gama como, por exemplo, H, B, Be, Li, N, O, etc., além de penetrar materiais muito mais pesados.

Neutrongrafia

(a)



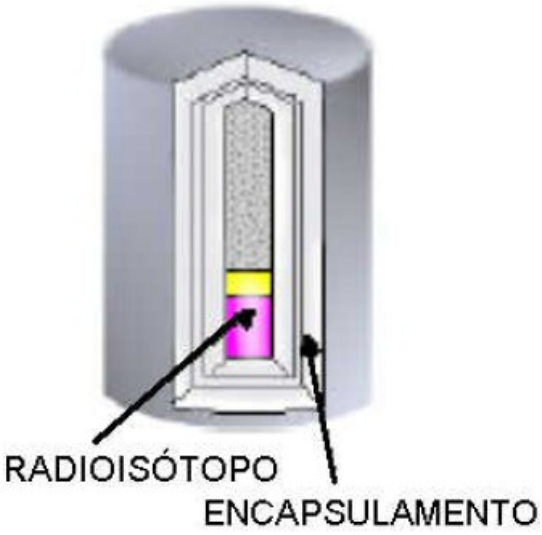
(b)

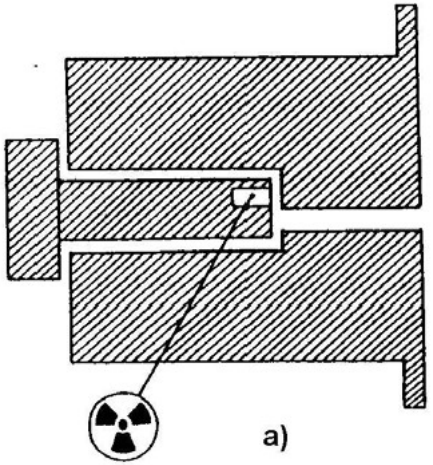
Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

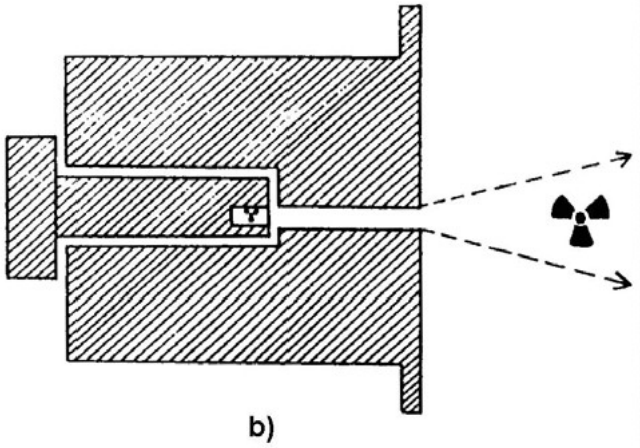
- Os métodos de produção modernos, sobretudo os automáticos, devem ser submetidos a uma constante vigilância para se ***assegurar*** a ***qualidade*** dos produtos e ***controlar*** o processo de produção.
- Esse tipo de vigilância, em muitos casos, é feito com dispositivos de controle de qualidade que empregam as propriedades das radiações ionizantes conhecidos pela denominação genérica de medidores nucleares.

Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

- Medidores nucleares empregam fontes seladas, isto é, fontes cujo radioisótopo está encapsulado, ou seja, contido em um invólucro ou cápsula selada . A mesma permanece armazenada num irradiador que serve de porta-fonte e blindagem além de colimar e obturar o feixe de radiação .





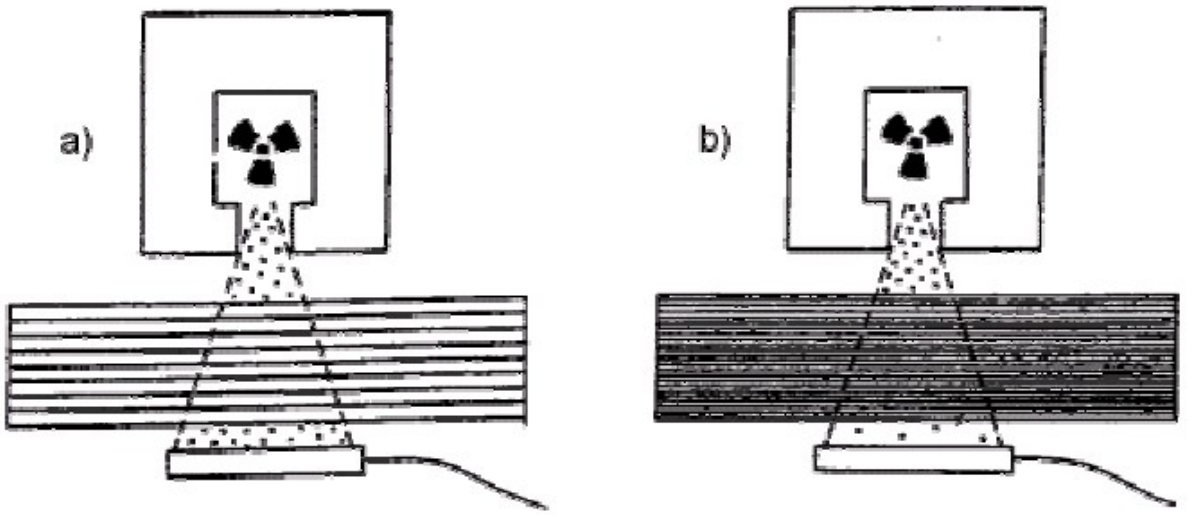


Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

- Os medidores nucleares ***não necessitam*** estar em ***contato*** com o ***material*** que se examina e, portanto, podem ser utilizados para controlar processos de alta velocidade, materiais com temperaturas extremas ou propriedades químicas nocivas, materiais suscetíveis a danos por contato e produtos envasados.
- Em função do processo de interação da radiação antes de chegar ao detector, os medidores podem ser classificados em três categorias:
  - *medidores de transmissão*
  - *medidores de retrodispersão (ou retroespalhamento)*
  - *medidores reativos*

Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

- Medidores de transmissão
  - a fonte radioativa e o detector de radiação estão situados em ***lados opostos*** do material. A radiação é atenuada ao atravessar o material e o detector mede a intensidade da radiação transmitida.



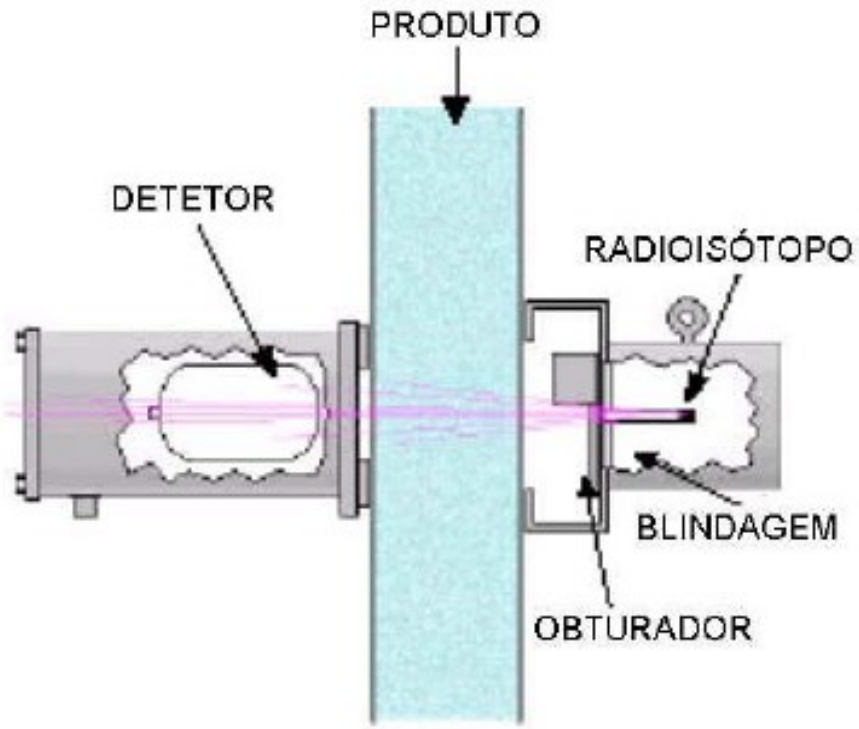
Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

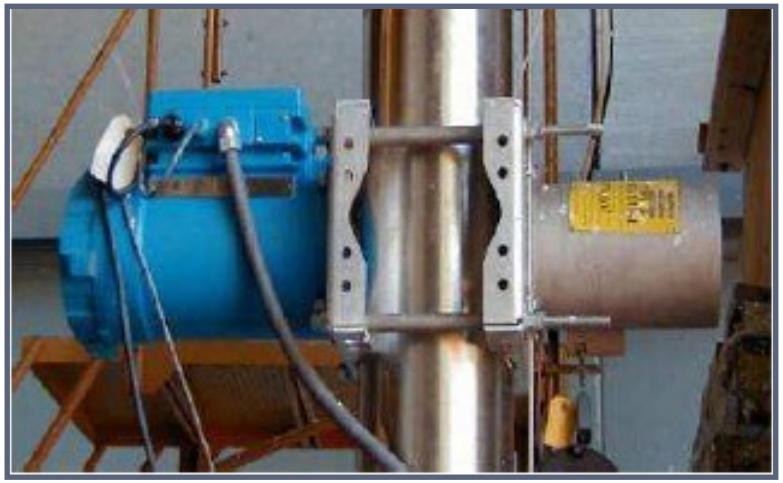
- Medidores de transmissão.

Fonte	Tipo de decaimento	Aplicações típicas	Atividade (GBq)
147Pm	β-	Densidade de papel	0,04 - 40
204Tl	β-	Espessura de papel, borracha e produtos têxteis	
85Kr	β-	Espessura de papelão	
90Sr + 90Y	β-	Espessura de metais delgados	
Raios X	--	Aço até 20 mm; nível de líquidos em embalagens	--
241Am	γ	Aço até 10 mm; conteúdo de vasilhames	0,4 – 40
137Cs	γ	Nível em tanques e vasos	
60Co	γ	Nível em fornos de coque e de cerâmica	

Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

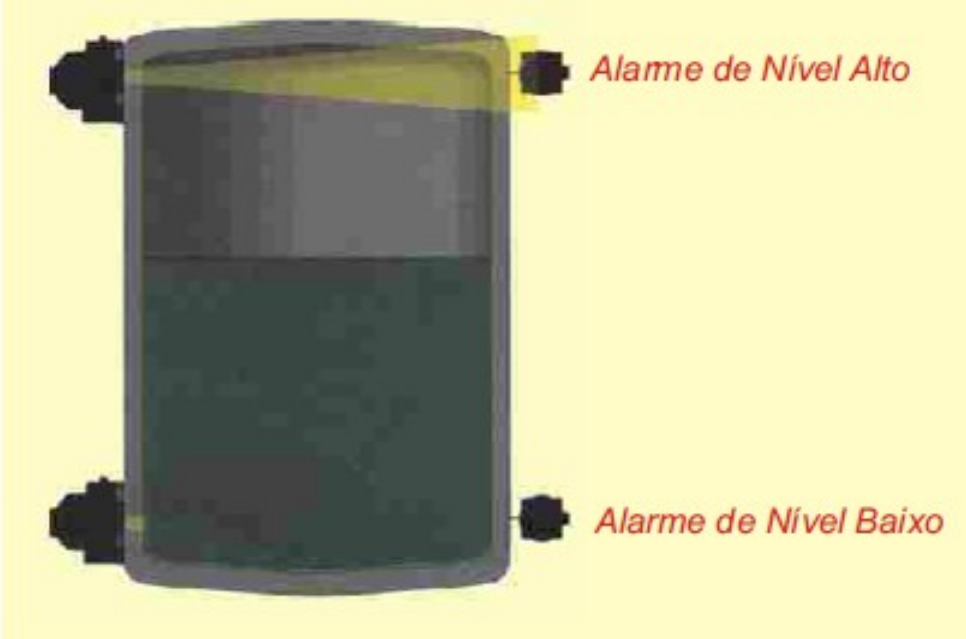
- Medidores de transmissão.





Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

- Medidores de transmissão.



Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

- Medidores de transmissão.

• **Química**
• **Petroquímica**
Grandes faixas com fontes e detetores múltiplos.

• **Química**
• **Petroquímica**
• **Papel e Celulose**
Medição de toda a faixa, incluindo o fundo cônico.

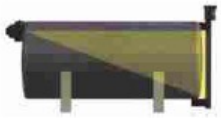
• **Química**
• **Cimento**
• **Papel e Celulose**
• **Mineração**
Medição contínua na seção cônica inferior do silo.

• **Geral**
Desenho mostrando a colimação do feixe radioativo, 30° e 45°.

• **Química**
• **Petroquímica**
Vaso com grande diâmetro ou paredes espessas com fontes pontuais múltiplas inseridas em poço seco.

• **Química**
• **Cimento**
• **Papel e Celulose**
• **Plásticos**
Medição de sólidos em silo.

• **Química**
Em vaso com paredes espessas a fonte pode ser inserida em um pequeno rasgo na parede. Isso permite utilizar fontes de menor atividade, sem inserção no vaso.

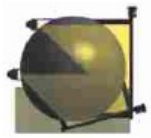


• **Geral**
Medição em vaso cilíndrico, horizontal. Longitudinalmente, permite monitoração de toda a faixa do vaso, de forma linear.

Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

- Medidores de transmissão.

• **Química**
• **Petroquímica**
Um único detetor para medição, em esferas ou vasos cilíndricos horizontais.



• **Química**
• **Petroquímica**
Duplo detetor com feixe de 60° em esferas ou vasos cilíndricos horizontais.

• **Geral**
Vaso alto, com alarme de nível alto, usando unidade eletrônica remota, para facilitar a calibração e a manutenção.

• **Química**
• **Processamento de Soja/ Milho**
• **Mineração**
Nível alto, nível baixo e detetores pontuais de entupimento para silos ou ciclones.

• **Geral**
Fonte simples usada para múltiplos detetores pontuais.

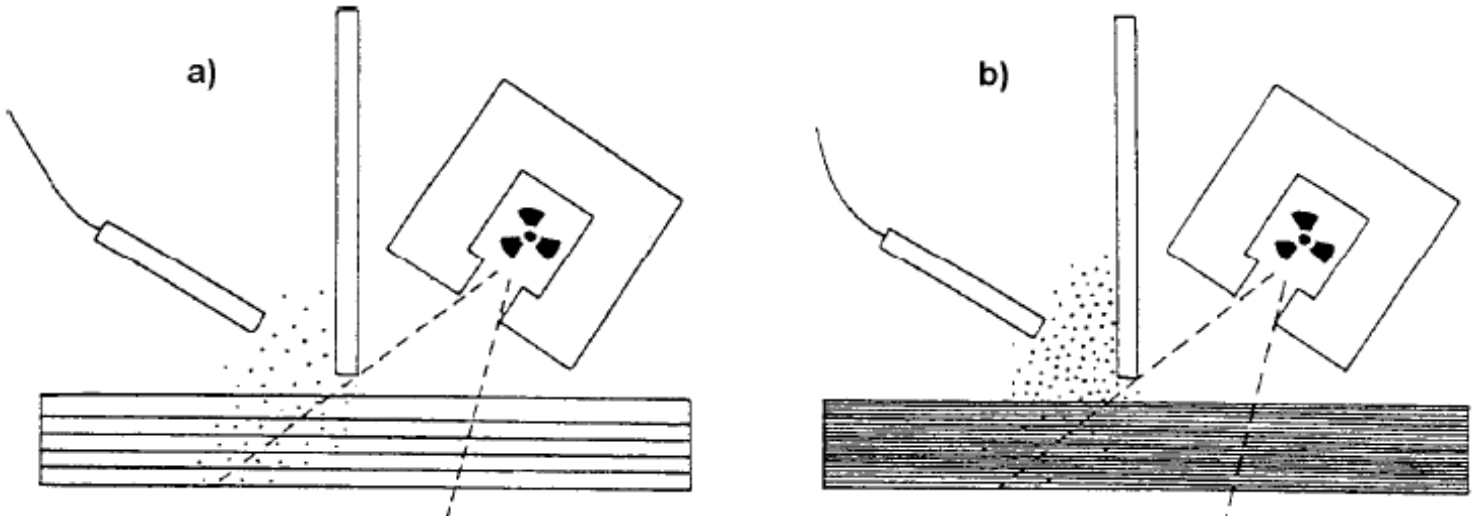
• **Clínker / Vidro**
Pequena área de refratário removida para permitir a transmissão do feixe radioativo, da fonte para o detetor.

• **Química**
A compensação da densidade do vapor é alcançada através da medição dessa densidade na área acima do medidor de nível.

• **Mineração**
Alarme de nível alto e baixo e totalmente vazio, para sólidos.

Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

- Medidores de retrodisperção ou retroespalhamento.
  - a fonte radioativa e o detector estão situados no ***mesmo lado*** em relação ao material. O detector é ***protegido*** contra a radiação primária. A radiação penetra o material e interage com seus átomos e moléculas. O ***detector mede*** as ***radiações secundárias*** que se retrodispersam a partir da interação. Se houver geometria constante, indicará a densidade e se a densidade for constante, indicará a espessura do material.



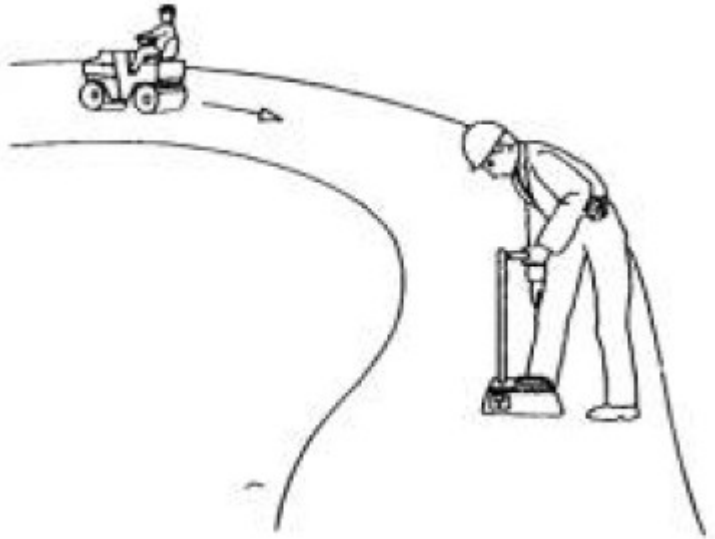
Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

- Medidores retrodisperção ou retroespalhamento.

Fonte	Tipo de decaimento	Aplicações típicas	Atividade (GBq)
^{147}Pm	β^-	Densidade de papel; recobrimento de metal delgado	**0,04-0,2**
^{204}Tl	β^-	Espessura de borracha e produtos têxteis	
$^{90}Sr + ^{90}Y$	β^-	Espessura de plástico, borracha e vidro	
^{241}Am	γ	Vidro até 10 mm e plástico até 30 mm	**0,44-110**
^{137}Cs	γ	Vidro acima de 20 mm; densidade de rochas e carvão	
$^{241}Am-Be$	η	Detecção de hidrocarbonetos em rochas	**1,9-3,7**

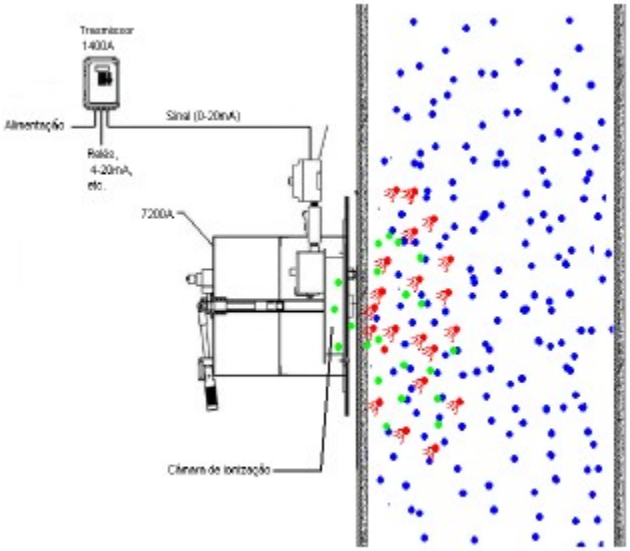
Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

- Medidores retrodisperção ou retroespalhamento.



Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

- Medidores retrodisperção ou retroespalhamento.



Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

- Medidores reativos.
  - Principal aplicação análise de hidrocarbonetos em rocha e prospecção de petróleo, diferenciando camadas petrolíferas de aquíferos salinos pela determinação de cloro.
  - Outro uso destes medidores é a fluorescência, a partir de fonte gama e raios X de baixa energia, em solos para a identificação e determinação de elementos de baixo Z, médio Z e alto Z em função do tipo de fonte utilizada. Possibilitando a analise de elementos constituintes de minerais assim como a espessura de camadas de substratos de materiais distintos.

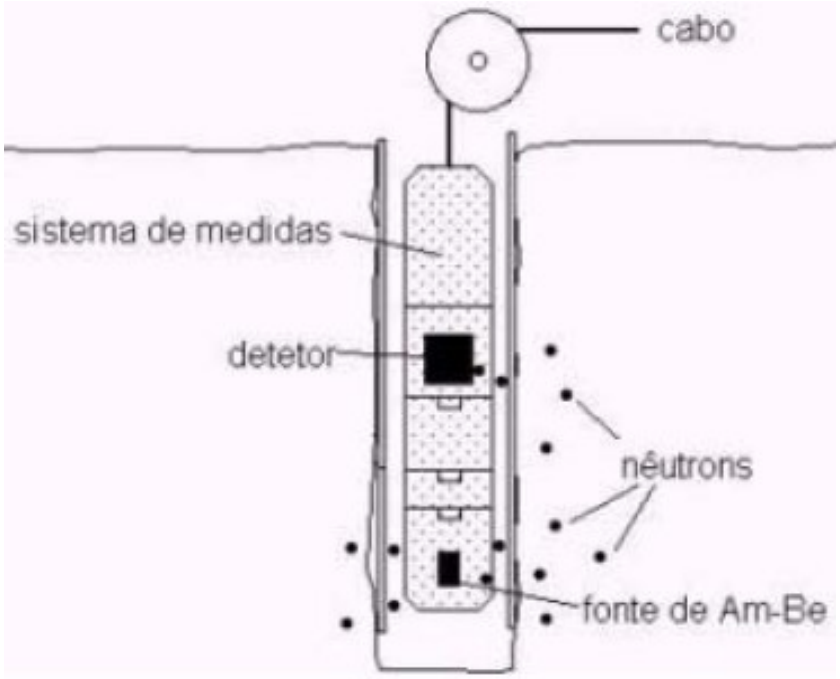
Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

- Medidores reativos.

Fonte	Tipo de decaimento	Aplicações típicas	Atividade (GBq)
55Fe	γ	Análise em elementos de baixo Z e em plástico de 0-25 µm sobre alumínio	**0,02-0,4**
241Am	γ	Análise em elementos de médio Z e em zinco de 0-100 µm sobre ferro	
109Cd	γ	Análise em elementos de alto Z	
Raios X (até 60keV)	--	Elementos diversos	**--**
Geradores de nêutrons	η	Análise de hidrocarbonetos em rocha	**0,0022-4,1**

Medidores nucleares e perfilagem de poços de petróleo

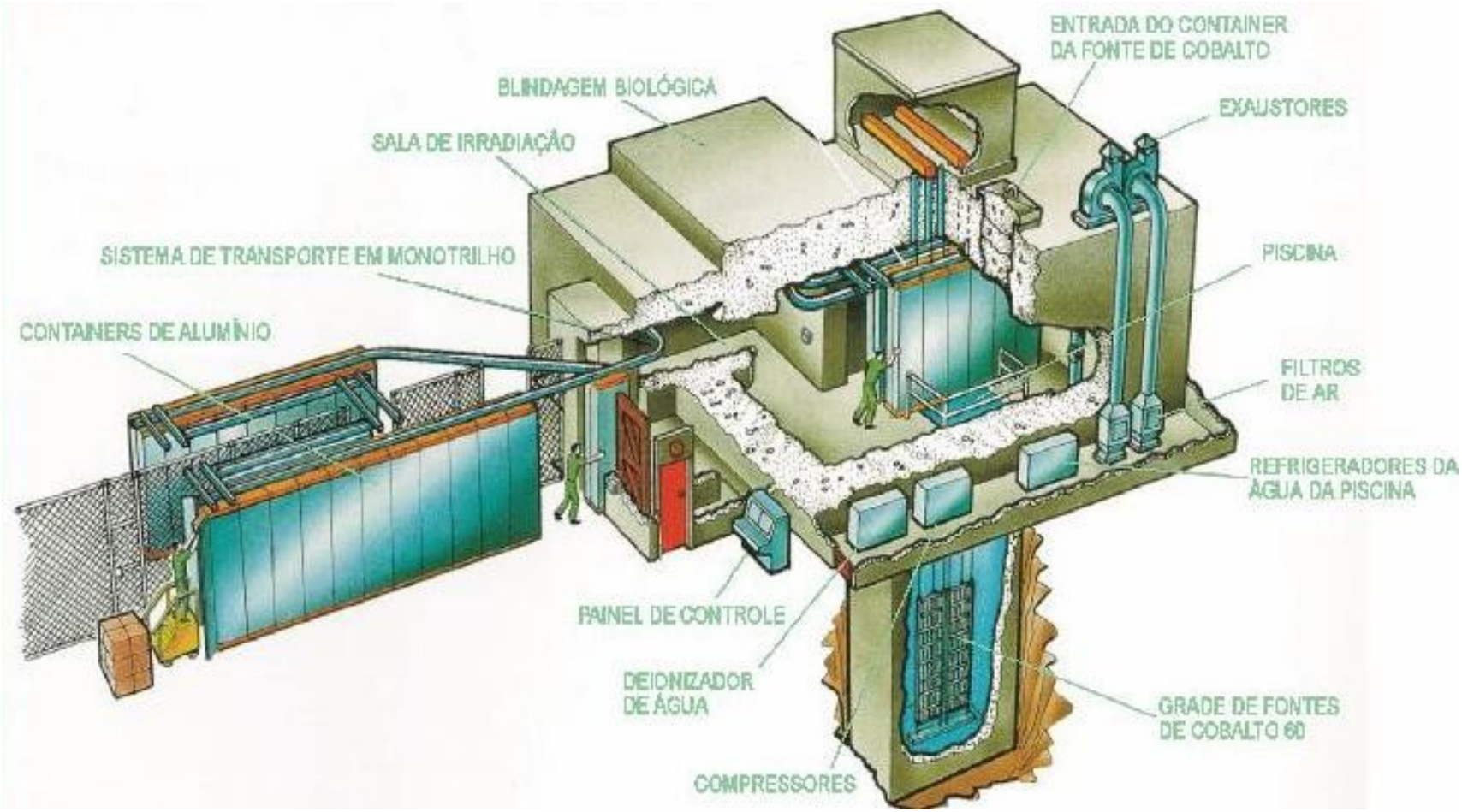
- Medidores reativos.



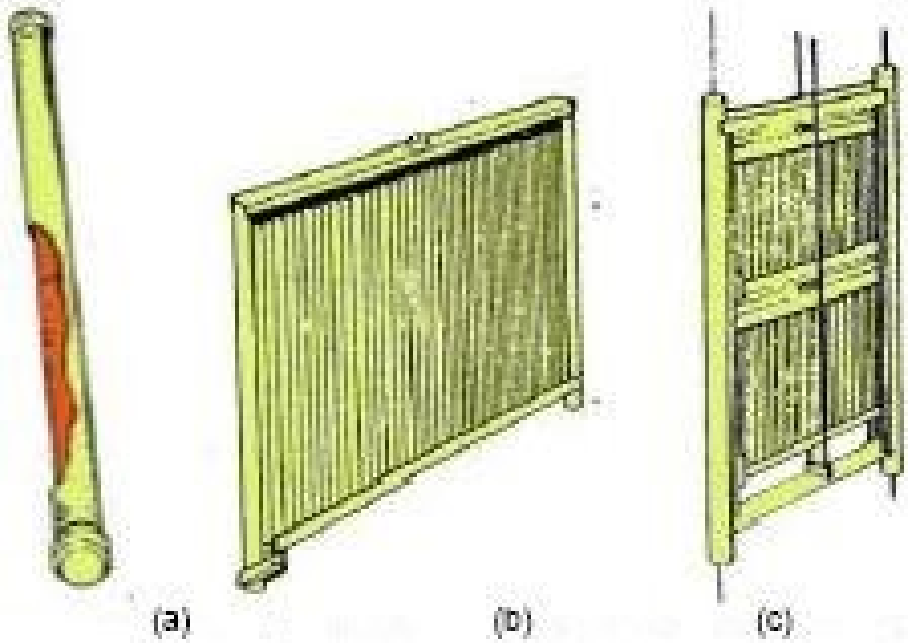
Irradiadores de grande porte e aceleradores industriais

- Irradiadores de grande porte: radiação gama
  - Cobalto (60Co)
    - 5,2 anos de meia-vida;
    - 1,17 e 1,33 MeV (energia gama);
    - Metálico não solúvel em água;
    - Produzido em reatores 59Co+n=60Co;
    - Monopólio da Nordion (Canadá).
  - Césio (137Cs)
    - 30 anos de meia-vida;
    - 0,66 MeV (energia gama);
    - Cloreto solúvel em água;
    - Produzido em reatores: produto de fissão (reprocessamento);
    - Disponível em grandes quantidades(USA).

Irradiadores de grande porte



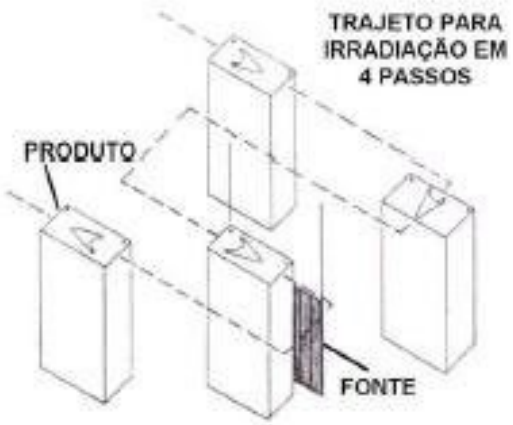
Irradiadores de grande porte



Fontes de radiação gama. a) lápis; b) módulo; c) conjunto.

Irradiadores de grande porte

Irradiadores de grande porte



Sistema de sobreposição do produto.

Sistema de sobreposição da fonte.

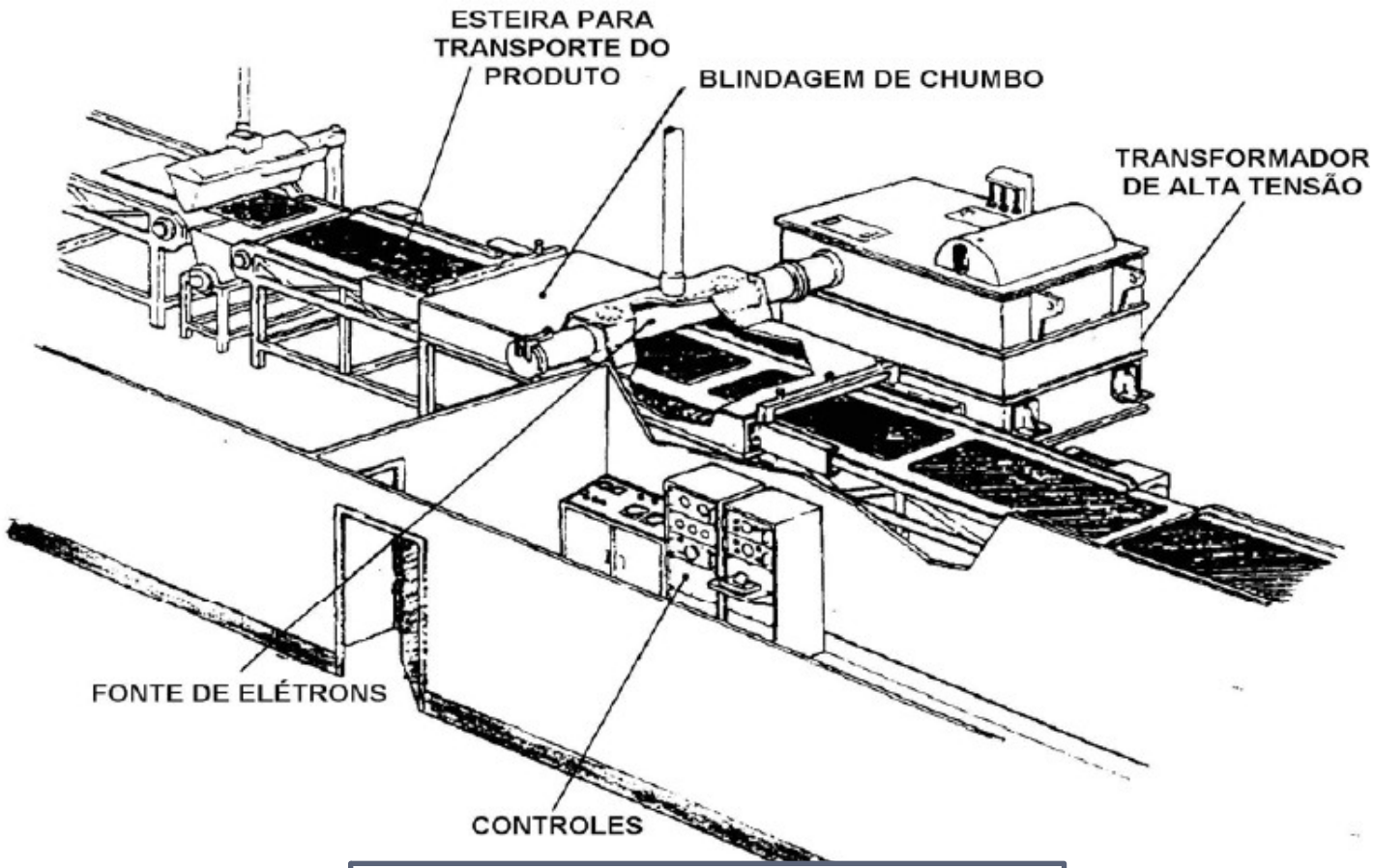
Aceleradores industriais

- Os aceleradores de elétrons empregados no processamento de produtos são majoritariamente lineares e têm sua energia limitada a *10 MeV* de modo a não haver indução de radioatividade em qualquer parte do processo;
- De acordo com publicações da AIEA, os aceleradores podem ser classificados em duas categorias: I e II:
  - *Categoria I*, a unidade é totalmente blindada com Inter travamentos de modo que, durante sua operação, o acesso é fisicamente impossível devido à configuração da blindagem;
  - *Categoria II*, a unidade instalada no interior de ambiente blindado de modo que, durante sua operação, o acesso é impedido por sistemas de controle de acesso .

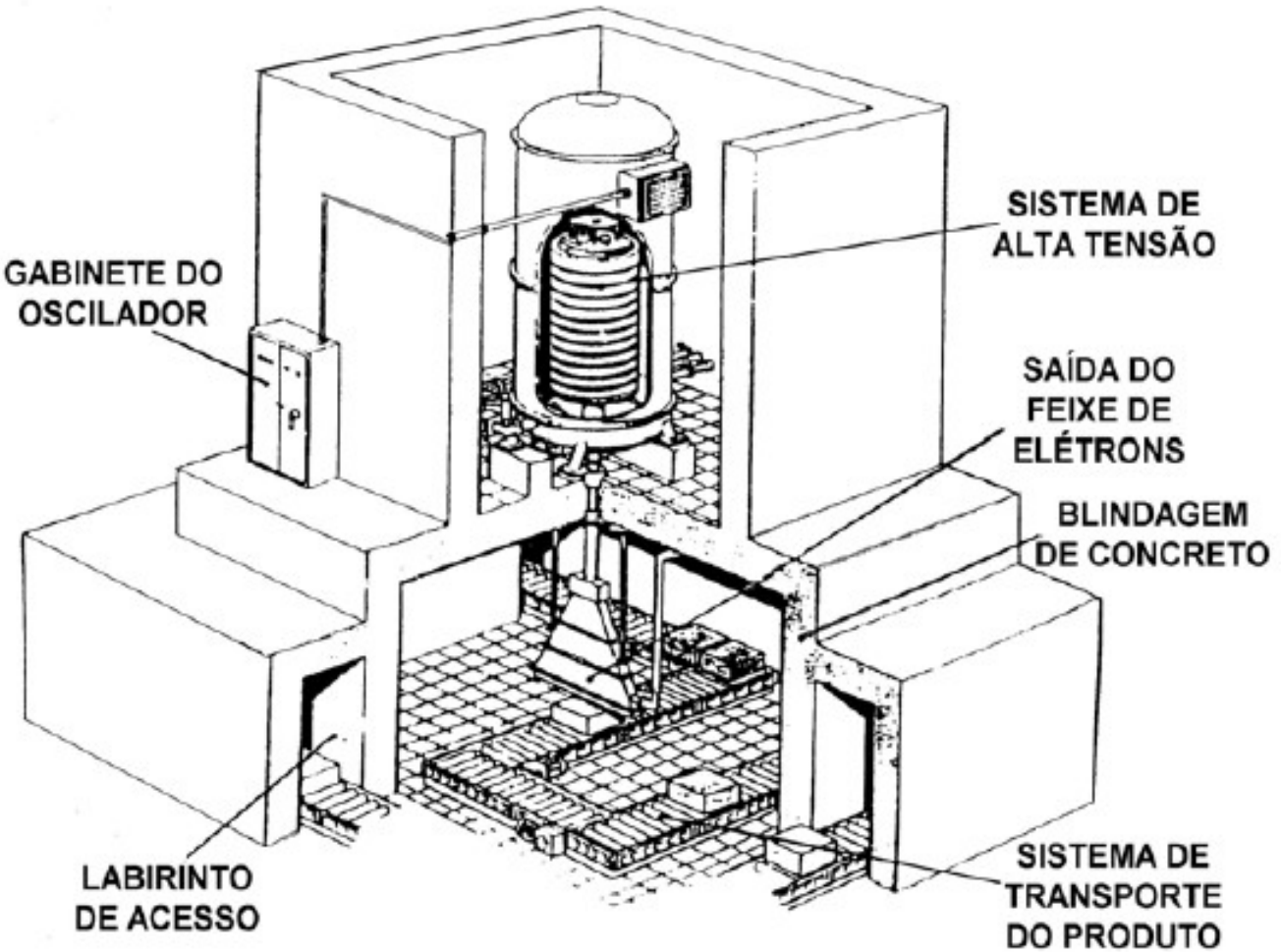
Aceleradores industriais

- Aplicação:
  - usados na modificação de polímeros, tal como a reticulação de polietileno para isolamento de fios e cabos e na cura de recobrimentos em papel, plástico, metais, etc.;
  - usados para esterilizar artigos médicos descartáveis (seringas, agulhas hipodérmicas, bandagens, luvas cirúrgicas, etc.);
  - empregados para produzir radiação X de freamento (*Bremsstrahlung*) de energia entre 0,2 e 10 MeV e taxa de dose dezenas de vezes maior do que as obtidas com radiação gama;
  - A alta potência emitida pelos aceleradores permite que o produto se mova a altas velocidades (100 a 500 metros por minuto) a despeito das altas doses usadas nos processos.

Aceleradores industriais



Aceleradores industriais



Aceleradores industriais

Irradiadores de grande porte e aceleradores industriais

- Aplicações:
  - Alimentos

Tipo de Alimento	Dose Absorvida (kGy)	Resultado e Efeitos da Irradiação
Carne, Frango, Peixe, Marisco, Alguns vegetais	20 a 70	Esterilização. Os produtos tratados podem ser armazenados à temperatura ambiente
Especiarias	8 a 30	Reduz a contagem de microorganismos e destroi insetos, substituindo produtos químicos
Carne , Frango e Peixe	1 a 10	Retarda a deterioração, mata alguns tipos de bactérias patogênicas (salmonella)
Morangos e outras frutas	1 a 4	Aumenta o tempo de prateleira, retarda o aparecimento de mofo
Grãos, frutas e vegetais	0,1 a 1	Mata insetos e evita sua reprodução, podendo substituir parcialmente os fumigantes
Banana, abacate, manga, mamão, e outras frutas não cítricas	0,25 a 0,35	Retarda a maturação
Carne de porco	0,08 a 0,15	Inativa a bacteria Trichinella
Batata, cebola e alho	0,05 a 0,15	Inibe o brotamento

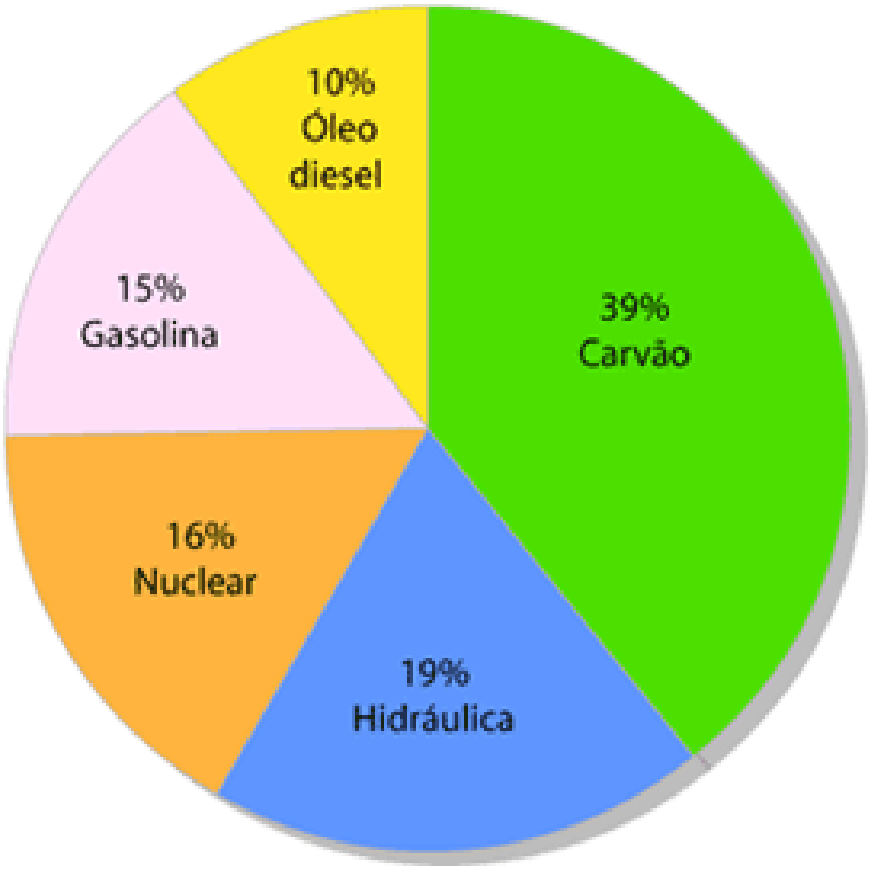
Irradiadores de grande porte e aceleradores industriais

- Aplicações:
  - ***Hemoderivados*** – A irradiação de bolsas de plaquetas e hemácias, também chamadas de hemocomponentes, utilizadas, principalmente, por pacientes que sofrem de leucemia e outros tipos de câncer. A irradiação destrói os linfócitos do doador e, dessa forma, diminui as chances do organismo do receptor rejeitar o sangue transplantado.
  - ***Polímeros*** – Os isolantes elétricos utilizados em fios e cabos elétricos são polímeros termoplásticos ou elastômeros. O processo de irradiação desses isolantes com feixe de elétrons introduz uma estrutura tridimensional interconectada, denominada reticulação, melhorando as propriedades térmicas, elétricas, mecânicas e resistência a solventes dos fios e cabos elétricos irradiados, agregando ao produto uma melhor relação custo/benefício.

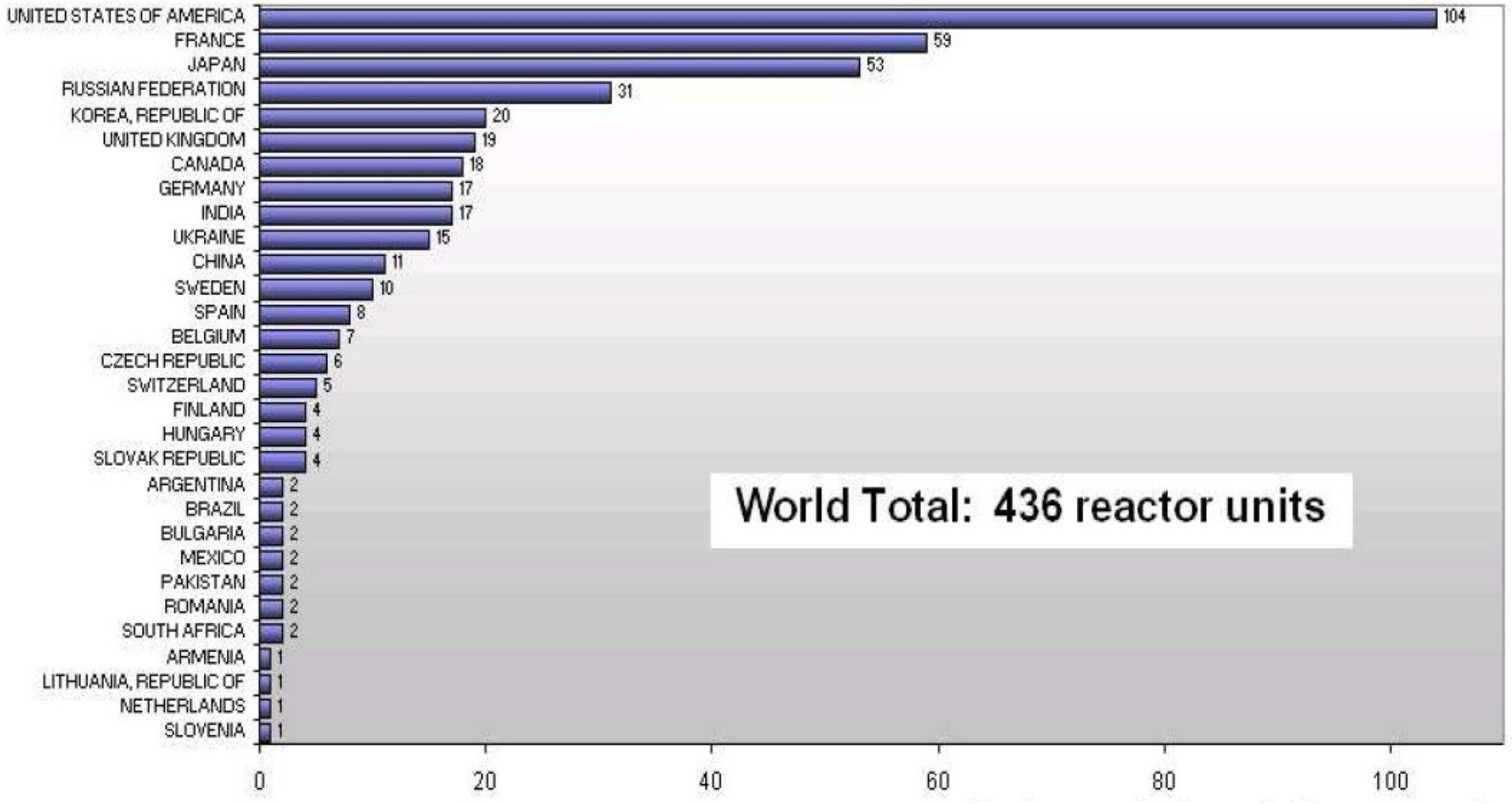
Reatores nucleares

- A energia nuclear e uma das formas de se obter energia elétrica em larga escala. Com o esgotamento dos recursos hídricos próximos aos principais centros consumidores, com as dificuldades de licenciamentos ambientais para o aproveitamento das matérias primas remanescentes e o constante crescimento da demanda de energia, a participação da energia nuclear na produção de energia elétrica e fundamental na medida em que contribui para a melhoria na qualidade de vida da população e para o desenvolvimento econômico do pais.

Reatores nucleares



Reatores nucleares



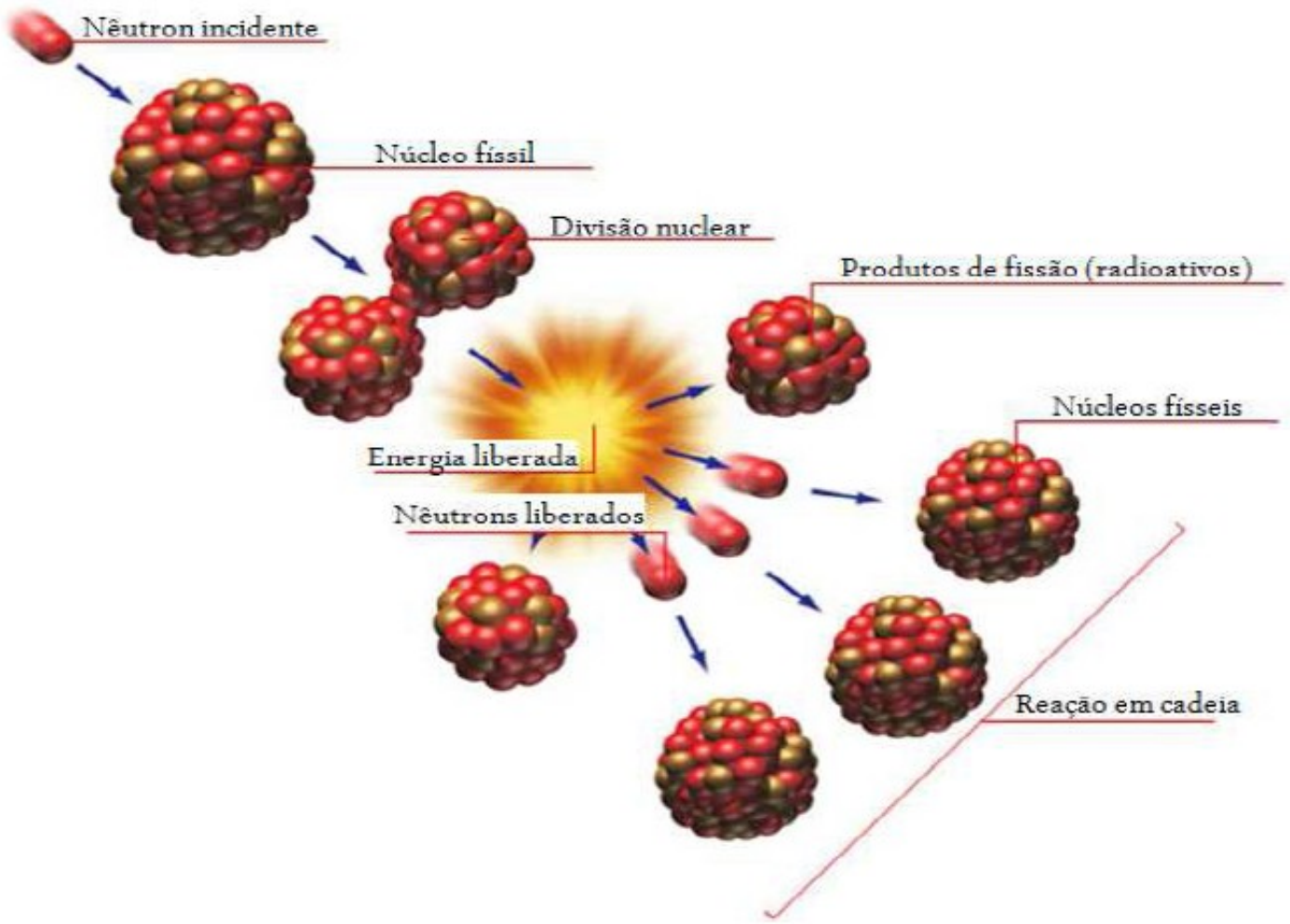
Reatores nucleares

- A maior vantagem ambiental da geração elétrica através de usinas nucleares e a não utilização de combustíveis fosseis, evitando o lançamento na atmosfera dos gases responsáveis pelo aumento do aquecimento global e outros produtos tóxicos. Usinas nucleares ocupam áreas relativamente pequenas, podem ser instaladas próximas aos centros consumidores e não dependem de fatores climáticos (chuva, vento, etc.) para o seu funcionamento.

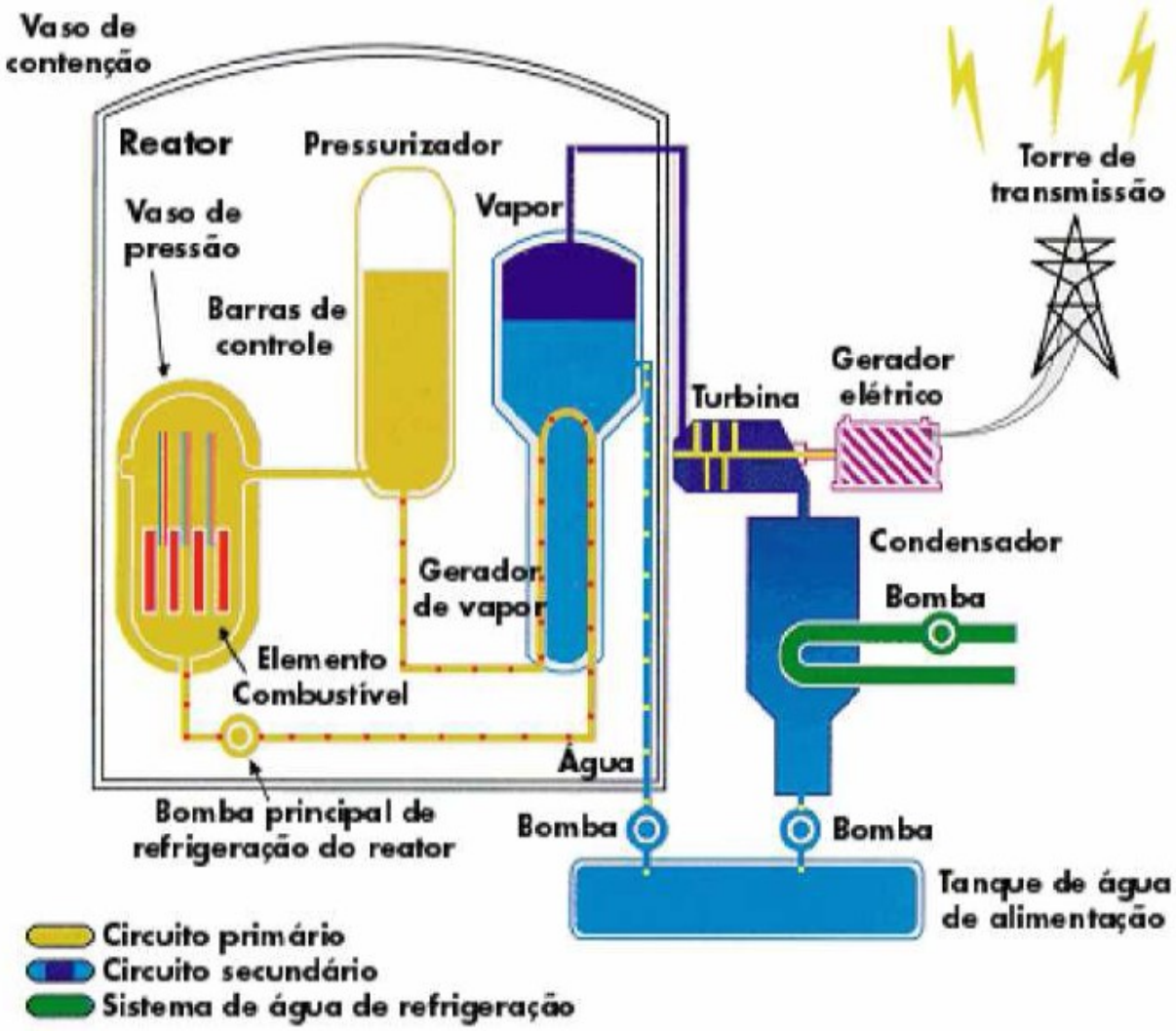
Reatores nucleares

- Reatores nucleares são instalações que utilizam a reação nuclear de *fissão* em cadeia, de forma controlada, para a produção de energia ou de fluxo de nêutrons.
- *Fissão nuclear* - é a quebra de um núcleo atômico pesado e instável através de bombardeamento desse núcleo com nêutrons moderados, originando dois núcleos atômicos médios, mais 2 ou 3 nêutrons e uma quantidade de energia enorme (± 200MeV).

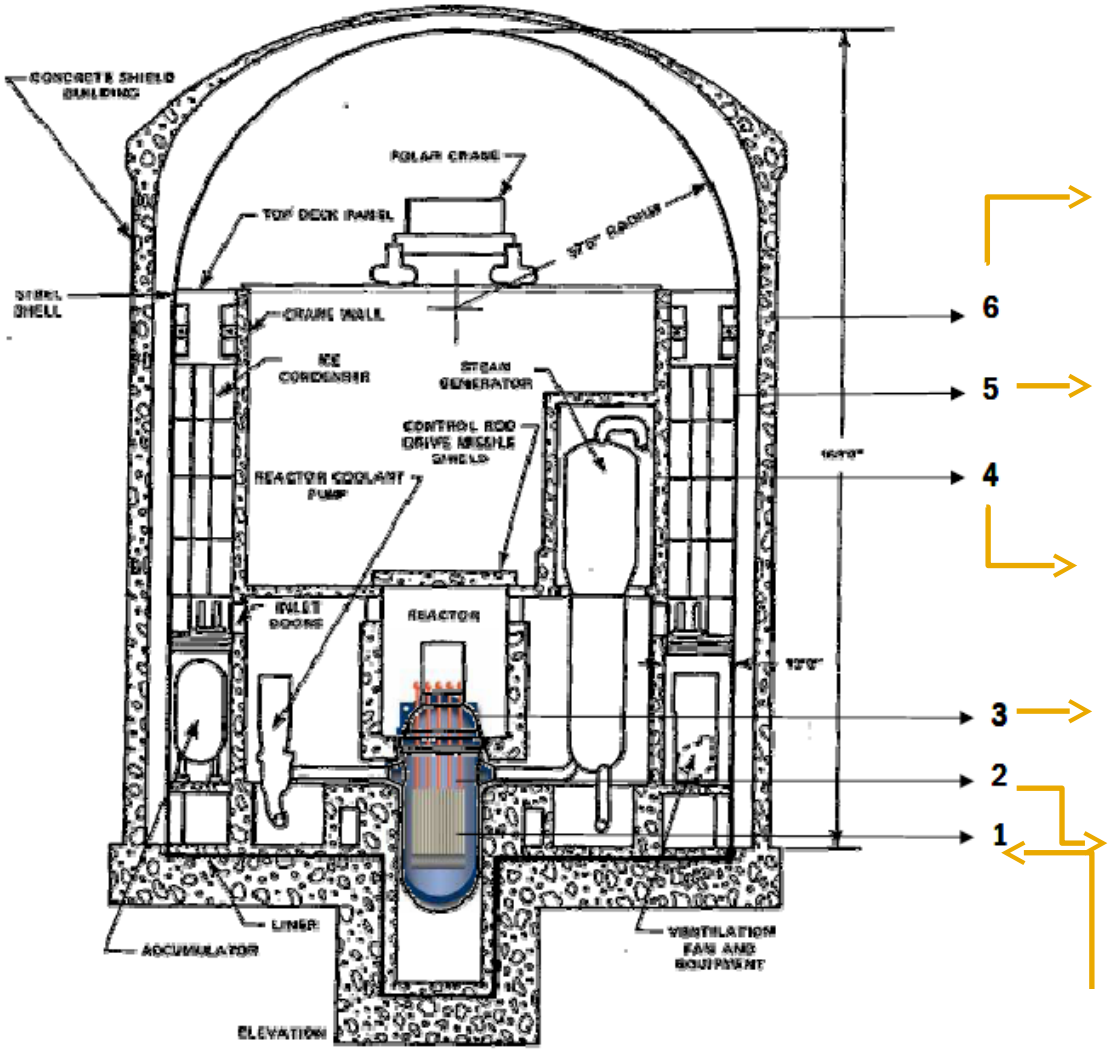
Reatores nucleares



Reatores nucleares

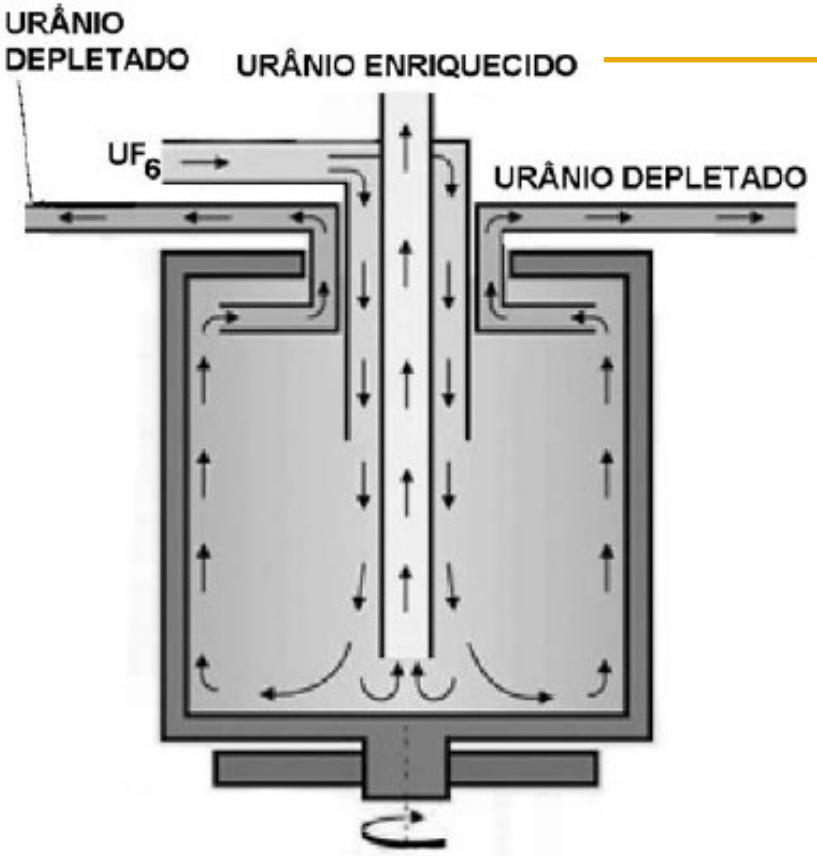


Reatores nucleares



Reatores nucleares

- Enriquecimento de urânio



Reatores nucleares

- O *custo de produção de energia*, seja qual for a tecnologia envolvida, pode ser analisado sob *03 componentes principais*: custo de capital, custo de operação e manutenção e custo de combustível.
- Usinas nucleares e hidrelétricas exigem grandes investimentos em obras de engenharia civil e montagem eletromecânica complexas, resultando em custos de capital elevados.
- Nas usinas térmicas convencionais, a montagem eletromecânica e predominante por não exigirem obras complexas de engenharia civil, mas apresentam um custo de combustível mas alto se comparado com as usinas nucleares (Carajilescov, P. e Moreira, J.M.L.).

Reatores nucleares

- Outro aspecto a ser considera em relação as diversas fontes geradoras de energia são os *prováveis impactos ambientais* que permeiam estas atividades.
- O impacto ambiental e os rejeitos radioativos das usinas nucleares são questões de grande interesse e objeto de intermináveis discussões. Ha também de ser considerado que *toda fonte de energia causa algum impacto ambiental*.
- *Hidrelétricas*, por exemplo, requerem a *construção de grandes represas* e, em muitos casos, a realocação de populações ribeirinhas e que estas áreas ocupadas, normalmente, causam impactos na fauna, flora e clima local e regional.
- Além disso *reservatórios das hidrelétricas emitem gás metano que contribui para o aquecimento global*, e provocam a destruição de áreas de subsistência, tais como terras aráveis, pastos e florestas.

Acidentes radiológicos na área de indústria

- Acidente radiológico
  - San Salvador (pub847, IAEA – 1990): Um severo acidente radiológico ocorreu em San Salvador em 05 de fevereiro de 1989, quando a fonte de 60Co (na data do acidente A = 18KCi ou 666GBq) do irradiador industrial utilizado prinicpalmente para esterilização de produtos médicos ficou exposta e os trabalhadores resolveram tentar recoloca-la na posição de guarda manualmente

Acidentes radiológicos na área de indústria

- Acidente radiológico:
  - San Salvador (pub847, IAEA – 1990)

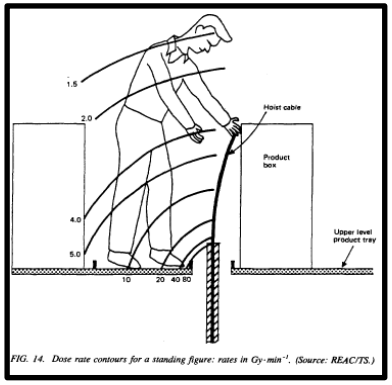


FIG. 14. Dose rate contours for a standing figure: rates in Gy·min^{-1}. (Source: REAC/TS.)

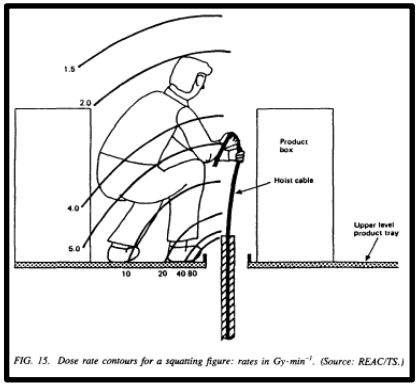


FIG. 15. Dose rate contours for a squatting figure: rates in Gy·min^{-1}. (Source: REAC/TS.)

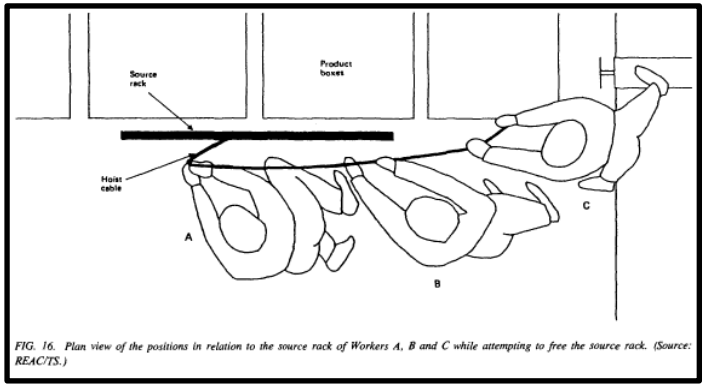


FIG. 16. Plan view of the positions in relation to the source rack of Workers A, B and C while attempting to free the source rack. (Source: REAC/TS.)

14. Patient A on admission to hospital in Mexico City (Day 26).

17. Patient A (Day 26): burns to the hand.

18. Patient A (Day 26): burns to the legs and feet.

19. Patient A (Day 26): the more exposed foot.

Transporte de material radioativo

Transporte de material radioativo

- O *transporte de materiais radioativos no Brasil*, seja por via aérea, marítima, ou terrestre, deve cumprir as *exigências da Norma CNEN-NE-5.01*.
- *Esta norma estabelece* requisitos de *segurança e proteção radiológica* a serem atendidos *desde a origem até o destino final das remessas*, de forma a assegurar o adequado nível de controle da eventual exposição de pessoas, bens e meio ambiente aos efeitos nocivos das radiações ionizantes.

Transporte de material radioativo

- Os *requisitos* da norma se aplicam às condições rotineiras, normais e acidentais *que possam ocorrer durante o transporte*.
- Além do regulamento da CNEN o transporte de materiais radioativos deve atender aos documentos normativos publicados pelas agências reguladoras do transporte modal, isto é, *Resolução 420 da ANTT* (Agência Nacional de Transportes Terrestres), *RBAC 175 da ANAC* (Agência Nacional de Aviação Civil), NORMAM *01* e *02* da Diretoria de Portos e Costas da Marinha do Brasil e *Resolução 1765 da ANTAq* (Agência Nacional de Transportes Aquáticos).
- Aplicam-se também requisitos da *Resolução CONAMA 237* e da *Lei Complementar 140* regulamentada pela *Instrução Normativa IBAMA No 5*.

Transporte de material radioativo

- A fim de executar ações conjuntas da política nacional de meio ambiente relativas às licenças ambientais e aprovações de transporte, a CNEN e o IBAMA assinaram em 2007 um *Memorando de Entendimento* e firmaram o *Termo de Referência para a Atividade de Transporte de Materiais Radioativos*, cujo objetivo é *facilitar o licenciamento das operações de transporte, evitando a duplicidade de ações e a superposição de responsabilidades entre esses dois órgãos federais*.

Transporte de material radioativo

- Há *empresas* que demonstraram à CNEN sua capacidade técnica para realizar este tipo de transporte com a segurança exigida pelo regulamento.
- Tais empresas oferecem serviço de consultoria e logística.
- Porém, a *responsabilidade pela segurança durante o transporte permanece com o Expedidor*.

Transporte de material radioativo

- **Termo de referência**
  - CONTROLE DA ATIVIDADE DE TRANSPORTE DE MATERIAIS RADIOATIVOS NO BRASIL
  - *Estabelece o procedimento único para o atendimento aos requisitos de segurança contidos nas Normas CNEN-NE-5.01, CNEN-NE-2.01 e Resolução CONAMA n. 237 no que se refere ao transporte de materiais radioativos*.

Transporte de material radioativo

- *Materiais radioativos para fins de transporte* são classificados em dois grandes grupos:
  - **GRUPO 1 –FONTES SOB A FORMA ESPECIAL**
    - Estão incluídos neste grupo as *fontes seladas* e os materiais *indispersiveis*.
  - **GRUPO 2 – FONTES SOB OUTRAS FORMAS**
    - Estão incluídos neste grupo os objetos contaminados na superfície (*OCS*),
    - os materiais de baixa atividade especifica (*BAE*), os materiais físseis (*BAE*),
    - fontes radioativas liquidas (usadas geralmente na *medicina nuclear e na pesquisa*) e
    - *demais fontes radioativas sólidas e gasosas não seladas*, isto é, que não passaram ou não foram submetidas aos testes específicos para fontes seladas.

Transporte de material radioativo

ANEXO A – ROTEIRO DE PLANO DE TRANSPORTE GERAL

ROTEIRO COMPLETO PARA ELABORAÇÃO DE PLANO DE TRANSPORTE DE MATERIAIS RADIOATIVOS POR INSTALAÇÕES RADIATIVAS

Transporte de material radioativo

ANEXO B – REQUERIMENTO CNEN DE AT

CNEN	**COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR** **DIRETORIA DE RADIOPROTEÇÃO E SEGURANÇA NUCLEAR** **DIVISÃO DE REJEITOS RADIOATIVOS** Rua General Severiano 90 - Botafogo - Rio de Janeiro – RJ CEP.: 22.290-901 - Tel. (21)2275-7178 Fax: (21)2275-8633	Para uso da CNEN/DIREJ **REQUERIMENTO DE NÚMERO:**
REQUERIMENTO PARA TRANSPORTE DE MATERIAL RADIOATIVO (RTMR)		
1. DADOS DA ENTIDADE SOLICITANTE		

Transporte de material radioativo

ANEXO C – FORMULÁRIO DE REQUERIMENTO JUNTO AO IBAMA

FORMULÁRIO DE SOLICITAÇÃO DE ABERTURA DE PROCESSO - FAP
EMPREENDIMENTO: NUCLEAR - TRANSPORTE

ANEXO D – SISTEMA Q

- O sistema Q foi desenvolvido com o objetivo de limitar a quantidade de material radioativo que pode ser transportado em Embalagens do Tipo A, a partir de algumas hipóteses relativas à probabilidade de exposição de um indivíduo à radiação (interna e externa), durante um eventual acidente em seu transporte.

Radiologia Industrial

Prof. Luciano Santa Rita

www.lucianosantarita.pro.br
tecnologo@lucianosantarita.pro.br