

25 Novembro 2015

*IPaiva, DECN/IST, Curso de Protecção Radiológica em Radiografia Industrial*



**DECN**  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
E CIÊNCIAS NUCLEARES  
TÉCNICO LISBOA

# Curso de Protecção e Segurança Radiológica em Radiografia Industrial Campus Tecnológico e Nuclear

## ***GESTÃO INCORRECTA DE RESÍDUOS RADIOACTIVOS, FONTES ÓRFÃS E BENS DE CONSUMO CONTAMINADOS***

*M. Isabel F. Paiva*  
*Investigadora (Ph.D.)*

*(ipaiva@ctn.ulisboa.utl.pt)*

*DECN/IST/CTN, Polo de Loures*

*23-26 Novembro 2015*

# Conteúdo Básico

- *Definição de resíduo radioactivo*
- *O que são e onde se utilizam fontes seladas*
- *Falhas na Gestão de Resíduos Radioactivos*
- *Definição de Fontes Órfãs*
- *A transposição da nova Directiva 2003/122/EURATOM, do Conselho, de 22 de Dezembro para lei portuguesa*
- *Acidentes/Incidentes devidos a deficiente gestão de resíduos radioactivos*
- *Ocorrências com produtos manufacturados com matérias-primas contaminadas*
- *Bens contaminados*
- *Sugestões para prevenção de futuros incidentes/acidentes*



## Definição de Resíduo Radioactivo

Resíduos radioactivos são todos os materiais que  
contenham ou se encontrem contaminados por  
radionuclidos e para os quais não se encontra  
prevista qualquer utilização

# CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS RADIOACTIVOS

De acordo com a AIEA\*, em 6 categorias:

1. Resíduos exemptos (EW)
2. Resíduos de vida muito curta (VSLW)
3. Resíduos de muito baixa actividade (VLLW)
4. Resíduos de baixa actividade (LLW)
5. Resíduos de actividade intermédia (ILW)
6. Resíduos de alta actividade (HLW)

Spent fuel ou combustível  
gasto

Fontes seladas de alta  
actividade

**Na legislação portuguesa, ainda não está publicada a classificação dos resíduos radioactivos produzidos no país**



# Gestão dos Resíduos Radioactivos

Todas as actividades, administrativas e operacionais, que estão envolvidas no manuseamento, pré-tratamento, tratamento, acondicionamento, transporte, armazenagem temporária, armazenagem definitiva ou libertação dos resíduos radioactivos, originários numa instalação radiológica e/ou nuclear.

# PRINCÍPIOS DA GESTÃO DE RESÍDUOS RADIOACTIVOS

<b>1º Princípio:</b> Protecção da saúde humana	<b>6º Princípio:</b> Estrutura legislativa nacional
<b>2º Princípio:</b> Protecção do ambiente	<b>7º Princípio:</b> Controlo da geração de resíduos
<b>3º Princípio:</b> Protecção além fronteiras	<b>8º Princípio:</b> Geração de resíduos radioactivos e interdependência da gestão
<b>4º Princípio:</b> Protecção das gerações futuras	<b>9º Princípio:</b> Segurança das instalações
<b>5º Princípio:</b> Herança para futuras gerações	Protocolo de Kyoto Mudanças climáticas Responsabilidade social

AIEA – Agência Internacional de Energia Atómica



# Alguns Aspectos Práticos sobre a Gestão de Resíduos Radioactivos em Portugal

D.L. nº 156/2013, de 5 Novembro, vigência a 5 de Dezembro 2013:

- O IST não poderá recolher RR sem que estes sejam previamente classificados como tal, autorizada a sua eliminação (art.13, alínea h) e transporte para instalação de eliminação (IST/CTN) (art.11), pela COMRSIN (Comissão Reguladora para a Segurança das Instalações Nucleares)
- Produtores/detentores de materiais radioactivos sem utilização prevista, devem solicitar à COMRSIN, a classificação dos mesmos e a autorização de transporte do local onde se encontram para o IST/CTN, directamente ao Presidente da COMRSIN: ([geral@comrsin.pt](mailto:geral@comrsin.pt); Palácio das Laranjeiras, Estrada das Laranjeiras, 205, 1649-018 Lisboa)



## Alguma Legislação Base Relacionada com Fontes Seladas e Gestão de Resíduos Radioactivos, em Portugal

- *O Decreto-Lei N.º 156/2013*, do Ministério da Educação e Ciência, estabelece o quadro legal e regulador para a gestão responsável e segura do combustível irradiado e dos resíduos radioactivos e transpõe para a ordem jurídica interna as disposições da: *Directiva n.º 2011/70/EURATOM*, do Conselho, de 19 de Julho de 2011.
- *O Decreto-Lei n.º 38/2007*, estabelece o regime jurídico da prevenção da exposição dos trabalhadores e do público a radiações ionizantes resultantes de um controlo inadequado das fontes radioactivas seladas e transpõe a Directiva n.º 2003/122/EURATOM, do Conselho, de 22 de Dezembro.
- *Decreto-Lei n.º 29/2012*, do IST, autoriza a detenção, transferência, transporte e introdução em território nacional de fontes seladas

## O que são Fontes Seladas?

**Fontes Seladas** - contentores metálicos de variadas dimensões contendo matérias radioactivas sob a forma selada. O invólucro de selagem impede que haja libertação de radiação da fonte, protegendo quem a manipula

**Fontes Abertas ou Fontes Abertas** – contentores não selados, de vários materiais, contendo matérias radioactivas na forma não-selada

**Produtores de Fontes Seladas** – Licenciamento exige demonstração de integridade da selagem, inclui procedimentos de utilização e de gestão como resíduo radioactivo



## **Classificação de Fontes Seladas**

- **A AIEA classifica as fontes seladas em 5 tipos, conforme o potencial para causar danos imediatos na saúde e no ambiente, caso não sejam adequadamente manipuladas ou geridas. O tipo 1 constitui a categoria potencialmente mais perigosa**
- **As fontes usadas na cobalto-terapia para o tratamento do cancro, são fontes classificadas como de actividade elevada (tipo 1)**
- **Quando deixam de ter a actividade necessária aos objectivos previstos, podem tornar-se fontes radioactivas seladas gastas (spent sources) ou sem aplicação (disused), tendo de ser tratadas como resíduo radioactivo, caso não haja devolução ao produtor para eliminação ou reciclagem**

<b>Fonte</b>	<b>Radionuclidos</b>	<b>Aplicações</b>	<b>Actividades (TBq) (1TBq=1000 GBq=10<sup>12</sup> Bq)</b>
Tipo 1: Irradiadores Teleterapia	Co-60 Cs-137	Esterilização Terapia do cancro	15000 2.0
Tipo2: Radiografia industrial	Co-60, Se-75	Controlo de soldaduras	2.2
Braquiterapia (TLA)	Ir-192	Terapia do cancro	3.0; 3.7
Tipo 3: Medidores industriais de nível	Co-60	Controlo de processos (densidade, volume, etc.)	0.10
Medidores de poços (well logging)	Am <sup>241</sup> -Be	Prospecção (gás, carvão, petróleo)	0.74
Tipo 4: Braquiterapia (TLB)	Sr-90	Terapia do cancro	0.0009
Controlo de espessura	Sr-90	Indústrias (metal, papel, plástico)	0.037
Tipo 5: Controlo de enchimento	Cs-137	Processos industriais em linha	0.002
Ionizadores	Am-241	Detectores de incêndio	0.000045



# Onde se Utilizam Fontes Seladas?

## APLICAÇÕES:

Indústria, Agricultura, Farmácia, Medicina, Construção, Produtos de uso doméstico, Petróleo, Gás natural, Mineração, Ambiente, Calibração de equipamentos de medida, Proteção radiológica, Educação, Investigação, etc.

## RADIONUCLIDOS MAIS COMUNS:

Bário-133, Cobalto-60, Césio-134, Antimónio-124, Selénio-75, Estrôncio-90, Americio-241, Cobalto-57, Césio-137, Iridio-192, Californio-252, Praseodímeo-147, Kripton-85, Rádio-226

# TÉCNICAS EM RADIOGRAFIA INDUSTRIAL

## DUAS TÉCNICAS DISTINTAS

► Raios X ou Raios Gama – **GAMAGRAFIA.**





# FALHAS NA GESTÃO DE FONTES COMO RESÍDUO RADIOACTIVO

- Perda de Fontes Seladas (*Fontes Órfãs*)
  - Sucateiros e Siderurgias
- Acidentes/Incidentes Radiológicos
- Terrorismo (bombas sujas)
- Sistema de Notificação Rápido (acidentes/incidentes):  
**ECURIE**

## O que são Fontes Órfãs ?

- São fontes seladas que ficam fora do controlo institucional, não tendo “detentor” atribuído. Resultam de abandono, perda ou furto das mesmas
- Algumas centenas de fontes seladas são dadas como perdidas ou roubadas, anualmente, só nos EUA. Desde 1983, mais de duas dezenas destas fontes entraram acidentalmente em fornos de siderurgias só no continente americano





**Fontes órfãs (Co-60, Cs-137, etc.)**

25 Novembro 2015



Fontes órfãs e deteção



**Más prácticas com a gestão de fontes de alta actividade...**



25 Novembro 2015

*IPaiva, DECN/IST, Curso de Protecção Radiológica em Radiografia Industrial*







# Ocorrências com Perda de Fontes

- A AIEA reportou um aumento de cerca de 50% em ocorrências similares, em todo o mundo tendo sido reportados mais de uma centena de casos de perda de fontes, na última década
- Só na Holanda, foram reportados em 2010, 200 ocorrências de fontes órfãs em parques de sucata
- Notificação de ocorrências de acidentes/incidentes com fontes seladas em uso, fontes abandonadas, fontes perdidas e fontes roubadas, aumentaram nas últimas 2 décadas, em todo o mundo

## **Estatísticas de Acidentes Radiológicos (?-2000)**

**~ 400 acidentes reportados**

**~ 3000 expostos**

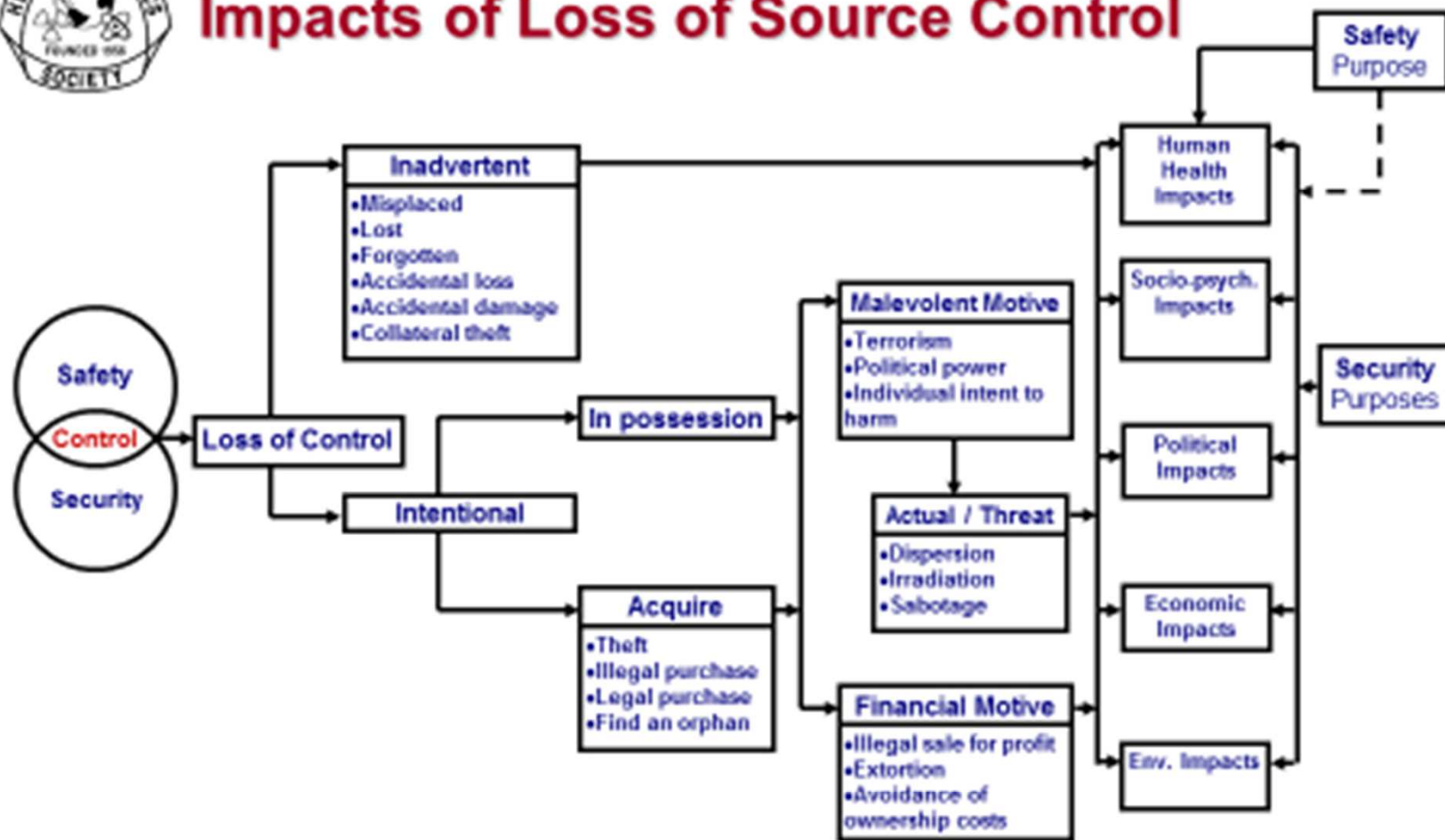
**> 100 mortes, mais de 50% envolvendo pacientes**

- **Fontes órfãs podem ser misturadas com sucata metálica podendo causar acidentes e incidentes radiológicos**
- **Tráfico ilícito de fontes órfãs é mais comum do que se julga mas poucos incidentes radiológicos sérios estão relacionados directamente com o tráfico ilícito transfronteiriço.**
- **Fontes órfãs foram, são e serão, cada vez mais, uma preocupação global no futuro**





# Impacts of Loss of Source Control



Fonte: BDConsulting&IAEA



# Exemplos de Acidentes/Incidentes com Fontes Órfãs



# Goiânia, Brasil



Clínica de radioterapia é encerrada e abandonado o local (1985)

Fonte selada de Cs-137 (teleterapia) é abandonada (1375Ci, 50,9 TBq, 20g)

Sucateiros transportam a cabeça da fonte e abrem-na com recurso a ferramentas (1987)





# Acidente Radiológico de Goiânia



**Remoção dos resíduos radioactivos  
e descontaminação**

**Fonte: IAEA**

25 Novembro 2015

**6 mortes, 12 feridos graves e 250 contaminados**

**3500 m<sup>3</sup> resíduos radioactivos (RR)**

**Uma central nuclear operando 25 anos produz 2300 m<sup>3</sup> de RR**





## Geórgia, Lilo

Centro de treino military de Lilo

1997: 11 militares georgianos apresentaram sintomas de “acute radiation syndrome”, com lesões visíveis na pele



Fontes órfãs (abandonadas e roubadas) (Cs-137, Co-60, Ra-226) encontradas em:

- Bolso de casaco
- Edifício do centro
- Edifícios fora do centro
- Enterradas no solo
- Lixeiras
- Campo de futebol





## Recuperação de fontes na Geórgia, AIEA



25 Novembro 2015

IPaiva, DECNIST, Curso de Protecção Radiológica em Radiografia Industrial

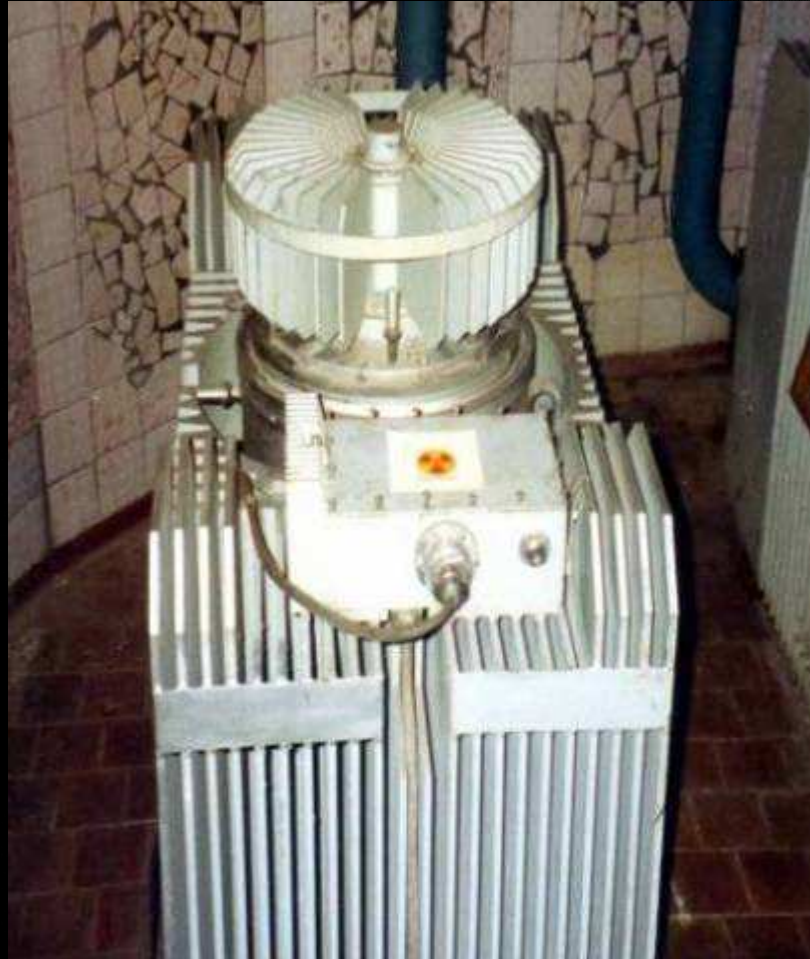


# Fontes órfãs descobertas num declive com 50 m de profundidade (30° inclinação), Geórgia





# Radioisotopic Thermoelectric Generators (RTGs)



Usados em aplicações (comunicações, navegação, etc.) civis e militares, em áreas remotas

25 Novembro 2015





## *Fontes órfãs dos RTG's na Bielorrússia*

25 Novembro 2015

IPaiva, DECN/IST, Curso de Protecção Radiológica em Radiografia Industrial





Fontes

## RTG's órfãs na Ásia



## Turquia, Istambul



**1988, Fevereiro: 2 pacotes foram transferidos para instalações “inapropriadas”**

**1993: 3 fontes de teleterapia em desuso foram “empacotadas e armazenadas” por uma empresa privada até retorno ao produtor nos EUA**



**Instalações temporárias de armazenagem “inadequadas”**



## Turquia, Istambul

- **Dezembro 1998: 2 fontes Co-60 (3.3 TBq, 88Ci) foram vendidas como sucata, foram “abertas”**
- **As fontes foram abertas tendo perdido o “shielding” ou proteção**
- **Os contentores de proteção desapareceram**
- **10 indivíduos com “acute radiation syndrome”**
- **404 indivíduos foram examinados em hospitais**
- **“Desaparecimento” de fonte Co-60 (23.5 TBq, 636 Ci)...**





# Tailândia, Samut Prakarn



Outubro 1999: 3 fontes de teleterapia em desuso foram “armazenadas” por uma companhia privada num parque de estacionamento inseguro

Jan/Fev 2000 – remoção não-autorizada de uma das fontes e desmantelamento para venda como sucata

**15.7 TBq (425 Ci) Fonte de Co-60  
“unshielded” ...**

- **10 indivíduos expostos a doses elevadas, dos quais 3 faleceram**
- **Não se verificou contaminação**
- 







# O papel fundamental dos Pórticos de deteção de radiação em cargas de sucata, em sucateiros e siderurgias

**Acidentes Conhecidos com Fontes Órfãs derretidas em Siderurgias**



## **Pórticos de detecção de radiação em sucateiros e siderurgias**



**Controlo adequado e seguro pode  
evitar acidentes graves para a indústria,  
populações e ambiente**









**PÁRA-RAIOS com Ra-226, podem ser encontrados em cargas de sucata**





## Diferentes tipos de detectores de fumo radioactivos



Fonte selada nos detectores de fumo: Am-241







**Troxlers (medida de espessura de solos, estradas):  
Am-241/Be, Cs-137, Cf-252**

## Fusão de fonte de Pu-238 no Reino Unido

- Maio de 2000, a empresa Avesta Steel (Sheffield), fundiu uma fonte de Pu-238 ( $T_{1/2}=86$  anos). Origem talvez num pacemaker cardíaco abandonado que não é sujeito a regulação/licenciamento no Reino Unido
- O acidente produziu 16 toneladas de aço e escória contaminada que foram classificados como resíduos radioactivos de actividade intermédia



## Acidente com fonte de Césio em Algeciras Espanha

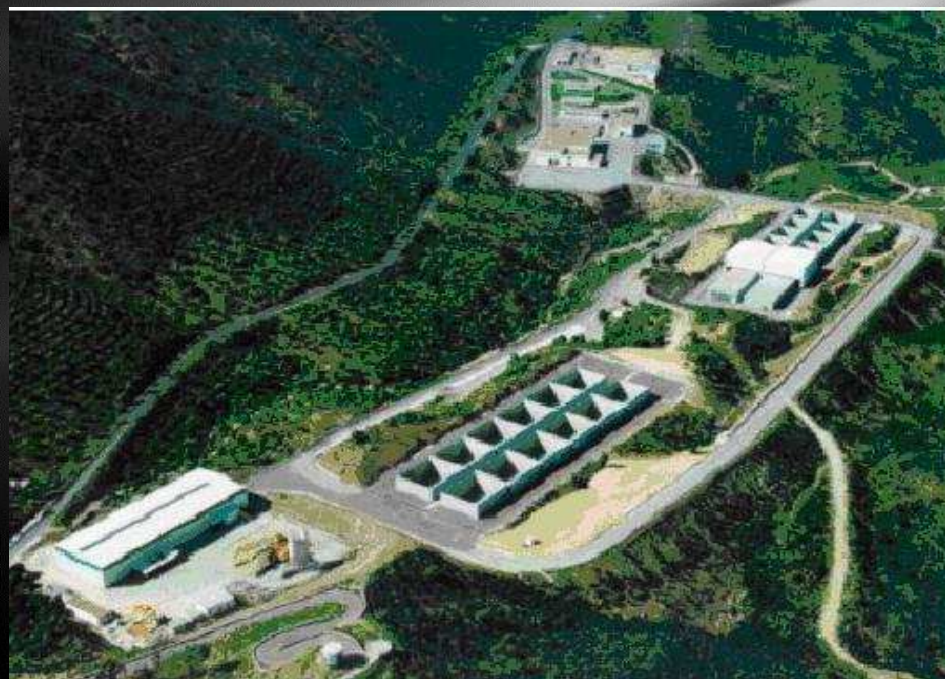
- Ocorreu em Maio de 1998, quando uma fonte de Cs-137 entrou num dos fornos da empresa ACERINOX, em Algeciras
- Pluma gasosa contaminada foi detectada entre 25 de Maio e 2 de Junho, em França, Itália, Suíça, Alemanha e Áustria (casos de detecção a cerca de 2500 km de Algeciras)
- Valores encontrados cerca de 1000 x > que os valores da radiação de fundo

## Acidente com fonte de Césio em Algeciras, Espanha

- Equipamento de detecção de fumos instalado nas chaminés da empresa não estava operacional
- Dificuldades sentidas pelas autoridades em identificarem a origem do problema
- Toneladas de resíduos resultantes do aço contaminado e do desmantelamento do forno acelerou o processo de licenciamento e construção de El Cabril (repositório para resíduos radioactivos de muito baixa, baixa e média actividade), perto de Córdoba



• Equipamento de detecção de fumos instalado nas chaminés da empresa não estava operacional; Avaria no sistema de porticos; Toneladas de resíduos resultantes do aço contaminado e do desmantelamento do forno acelerou o processo de licenciamento e construção do repositório para RR em El Cabril, Córdoba



Fonte: Site da ENRESA, El Cabril ,Córdoba



**DECN**  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
E CIÊNCIAS NUCLEARES  
TÉCNICO LISBOA

# BENS DE CONSUMO CONTAMINADOS

25 Novembro 2015

*IPaiva, DECN/IST, Curso de Protecção Radiológica em Radiografia Industrial*





**Outubro 2008, botões de painéis de elevadores com aço contaminado da Índia, foram detectados num elevador**

**Pessoal que instalou os botões esteve exposto 3 x a dose de radiação para trabalhadores não expostos**

**Empresa teve de notificar todos os países onde tinham sido instalados esses botões e deixou de usar o fornecedor indiano envolvido**

Fonte: IST/CTN



**Holanda, Outubro de 2012,  
0.7 microSv/h medido na  
superfície de contentores  
contendo sapatos de senhora**

**Na superfície do sapato, foi  
medido um valor máximo de  
0,3 microSv/h**

**Das seis diferentes partes de  
metal no sapato, apenas um  
tipo estava contaminado com  
Co-60**



Fonte: ECURIE





**Holanda, 25 Abril 2012, várias malas contendo caixas com faqueiros apresentaram valores elevados de radiação à superfície**

**Foi medido o valor de 0,2 microSv/h em pequenas caixas contendo 24 garfos de sobremesa**

**Uma grande parte do material que constituía os vários faqueiros encontrava-se contaminada com Co-60**



Fonte: ECURIE



**Holanda, 17 Maio 2012,  
caixas contendo taças  
metálicas para consumo  
doméstico (taças metálicas  
e outros)**

**Medida ao contacto das  
taças, deu um valor  
máximo de 0.1 microSv/h**

**As taças estavam  
contaminadas com Co-60**



Fonte: ECURIE



Fonte: ECURIE

**Bélgica, 28/09/2012**

**60 bancos com Co-60**

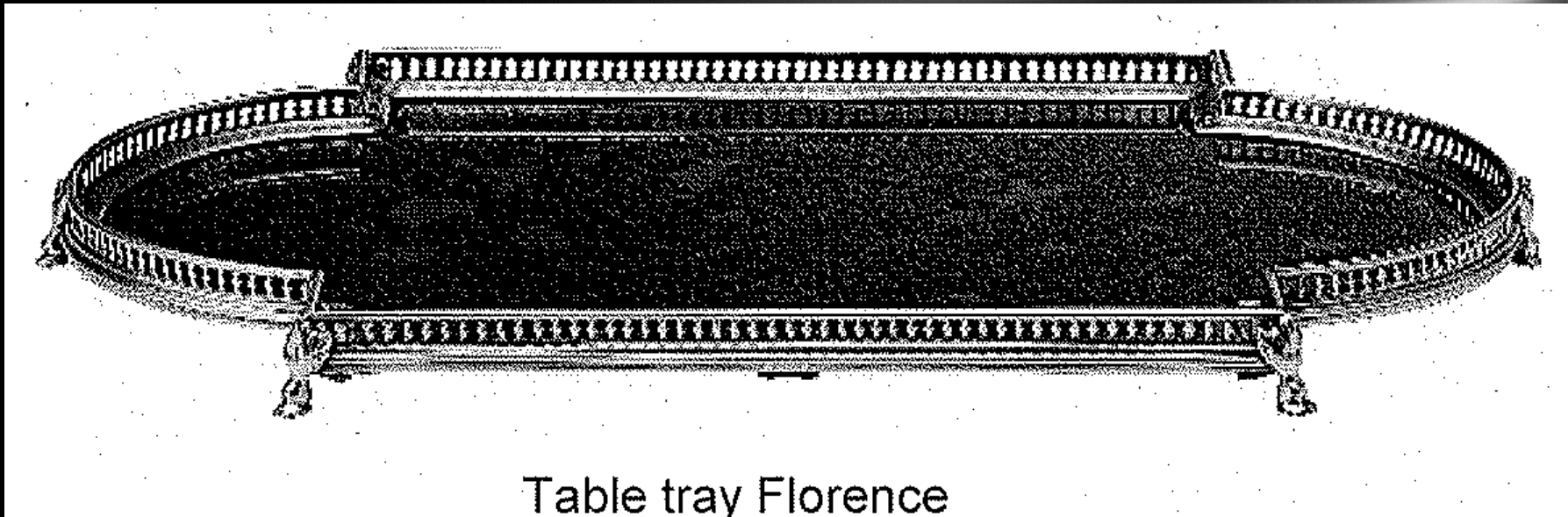
**Débito de dose a 30 cm de  
0.3 microSv/h e de 0.15 microSv/h,  
1 m de distância**

**Todos os bancos foram devolvidos  
à empresa indiana fornecedora**



# Tabuleiros de Metal contaminados com Co-60 Porto de Algeciras, Espanha

Origem: Continente Asiático



Fonte: ECURIE





# **DISCUSSÃO E SUGESTÕES SOBRE PREVENÇÃO DE FONTES ÓRFÃS E ACIDENTES/INCIDENTES DECORRENTES DE MÁS PRÁTICAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS RADIOACTIVOS**

## Previsões de Aumento de Resíduos Radioactivos e de Fontes Órfãs

- Aumento das quantidades de materiais resultantes do desmantelamento das centrais nucleares, das armas, submarinos e porta-aviões nucleares, falência de indústrias que possuem fontes radioactivas e desmantelamento de instalações radiológicas
- Aumento da probabilidade de mais fontes ficarem fora do controlo institucional e de ocorrerem com mais frequência em cargas de sucata metálica, podendo aumentar o risco de acidentes/incidentes, incluindo a fusão de uma fonte num forno de uma siderurgia



**Entre 350-550 milhões de toneladas de sucata ferrosa (“scrap metal”) foram comercializadas em 2010, a cerca de 350€ a tonelada, segundo informação fornecida pelo Bureau of International Recycling. Actualmente, estes custos são muito superiores.**

***Uma indústria florescente que terá de ter em conta os riscos radiológicos a que pode estar sujeita***

## **Algumas Sugestões para Prevenção**

**Melhor e mais rápida detecção e identificação da matéria radioactiva na sucata. Controlo mais eficaz nos portos (Iniciativa Megaports) e nas fronteiras terrestres**

**Boas práticas baseadas na experiência, na investigação e nas recomendações da AIEA e da UE**

**Implementação de bases de dados internacionais sobre acidentes, troca de informações com as indústrias transformadoras, os transportadores, as autoridades de inspecção, fronteiras e reguladores**



- **Melhorar a infraestrutura legal e reguladora**

**Implementar, a nível nacional, o Código de Conduta sobre Fontes Seladas (Code of Conduct on Safety and Security of Radioactive Sources) da AIEA, incluindo:**

- **Controlo das importações/exportações de fontes de alta actividade e/ou que possam constituir um risco radiológico**
- **Fortalecer o control das fontes através de uma estratégia nacional adequada**
- **Aumentar os procedimentos de segurança (security) conforme as fontes em causa**
- **Envolver os produtores de fontes e os distribuidores em assuntos como design, retorno das fontes ao produtor, riscos associados à manipulação e à classificação como resíduo radioactive, formação e treino, etc.**

*Legislação adequada*

*Licenciamento*

*Níveis de liberação (Clearance) de sucata  
radioactiva*

*Existência de Programas de Protecção  
Radiológica em todos os sectores*

*Alocação das responsabilidades e penalizações*

*Autoridade Reguladora Independente*

*Mais Fiscalização e Inspeção*

*Mais Educação e Treino*



# ITRAP Border Field-Test-Site Nickelsdorf - Car Lane



AUSTRIAN RESEARCH CENTERS

25 Novembro 2015

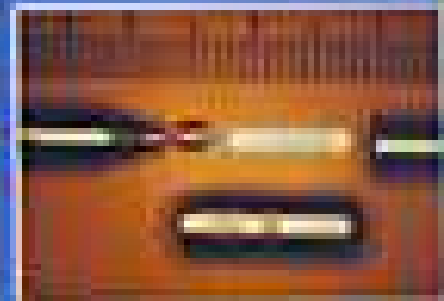
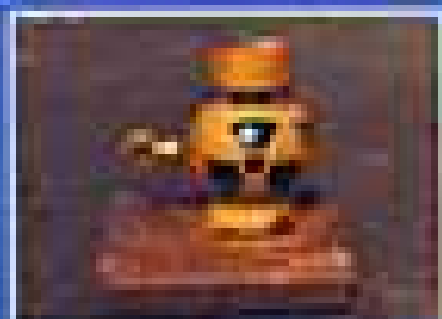
IPaiva, DECN/IST, Curso de Protecção Radiológica em Radiografia Industrial

# INTERNATIONAL CATALOGUE OF SEALED RADIOACTIVE SOURCES AND DEVICES



IAEA

The Catalogue is a comprehensive IAEA Database





# Agradecimentos

- Siderurgia Nacional- Empresa de Produtos Longos, SA., (São Pedro Fins), Maia
- Siderurgia Nacional- Empresa de Produtos Longos, SA., (Aldeia de Paio Pires), Seixal

Ex-Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN) e IST/CTN

- Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA)
- Agência de Energia Nuclear da OCDE (NEA)
- Agência Portuguesa do Ambiente (APA)
- CSN (Espanha) e ENRESA (Espanha)
- DOE, EPA (EUA)
- HPS, Dr. Brian Dodd (BDConsulting) e Informação livre na internet



**DECN**  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
E CIÊNCIAS NUCLEARES  
TÉCNICO LISBOA

***Obrigada pela vossa atenção***

***Isabel Paiva***

***(ipaiva@ctn.ulisboa.utl.pt)***

